الدكتور
معتز جاويش
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
جامعة دمشق

# البلاستيك وآلاته

١٤٠١ - ١٤٠٢ هـ
١٩٨١ - ١٩٨٢ م

مطبعة الجاحظ - دمشق



الدكتور
معتز جاويش
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
جامعة دمشق

# البلاستيك وآلاته



١٤٠١ - ١٤٠٢ هـ
١٩٨١ - ١٩٨٢ م

مطبعة الجاحظ - دمشق

## المقـدمـــــــة

أُعد هذا الكتاب ليغطي منهاج مقرر البلاستيك وآلاته للسنة الرابعة — هندسة التصميم والانتاج — في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق .

انه الخطوة الأولى القصد منها طرق مجال هذا العلم الهندسي الحديث القائم بذاته آملين أن تكون السنوات القادمة فيها الكثير من التطوير والبحث في هذا المضمار .

أجد لزاما علي أن أذكر بعض ما يجول بخاطري من نقاط هامة تتعلق بهذا المقرر الجامعي وهذا الكتاب :

١ — كان قسم هندسة التصميم والانتاج بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق سباقا بطرق هذا الموضوع الجديد واحداث مقرر البلاستيك وآلاته من خلال الخطة الدرسية الجديدة وذلك بقصد وضع مهندسينا قدر الامكان في مجال هذا العلم ، ومن المؤكد فان طلابنا — مهندسي المستقبل — سيدركون معنى هذا الجهد في حياتهم العملية وتقدير أهمية الموضوع ستكون أكبر بالتأكيد لمن تتاح لهم فرصة الاطلاع على هذا المضمار بشمولية أكثر في الدول الصناعية المتقدمة .

٢ — نظرا لكون هذا العلم حديث نسبيا فان مفرداته ومصطلحاته وقواعده قد تتغير من مرجع لآخر ، هذا شيء طبيعي فعلم التعدين مثلا عمل به الأخصائيين قرون من الزمن لتمكنوا من وضع مفرداته ومصطلحاته والتكنولوجيا الخاصه به ومع ذلك فما زال التطوير والبحث مستمر ، فكيف

بعلم هندسة البلاستيك الذى يمكن اعتبار انطلاقته الواسعة بدأت بعد الحرب العالمية الثانية ، رغم ذلك فالتحسين والاختراع والبحث يعطينا كل يوم شيء جديد .

٣ — حيث أن الموضوع يهمنا كمهندسين فقد حاولت قدر الامكان تجنب الخوض في التفاصيل ذات الأصل الكيميائي ، ومع ذلك فلم يكن أمامي الخيار من ذكر بعض التعاريف والايضاحات التي لا بد منها وذلك بقصد محاولة استيعاب صحيحة للمواد البلاستيكية وخواصها وطرق تصنيعها .

٤ — تم اعداد الكتاب واخراجه بسرعة يمكن اعتبارها قياسية لعمل مماثل ، لذا لا بد من العيوب ، لكن أملنا كبير بأن يكون هذا الكتاب خطوة اولى تتلوها خطوات أفضل . أود الاشارة هنا الى أنني اضطررت لاختصار و بتر بعض المواضيع الاختصاصية وعدم الاسترسال حتى لا يضيع مانرجوه من فائدة لطلابنا ، فهدفنا في الوقت الحاضر فقط أن لا يكون مهندسنا غريب عن هذا العالم الهندسي .

الكتاب يتضمن خمسة أبحاث ، الأول مخصص لتبيان وباختصار تطور المواد البلاستيكية من ناحية الاستخدام والانتاج ، أما البحث الثاني فقد تضمن الهام من الخواص الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية لهذه المواد ، كما تضمن الحديث عن العوائل البلاستيكية : أنواعها ، ميزاتها ، مساوئها ، وأهم تطبيقاتها . البحث الثالث يتعلق بعمليات التصنيع المختلفة لهذه المواد وكذلك تحدثنا عن البلاستيك المسلح (في الفصل الثاني من هذا البحث ) وهو من أكثر المواد استعمالا في التطبيقات الضخمة في الوقت الحاضر . في البحث الرابع بينا الأسس العامة لبعض الآلات المستخدمة في تصنيع المواد البلاستيكية ، ونود الاشارة الى أن التقدم

في هذا المجال كبير وسريع جدا فكل يوم نجد أنفسنا أمام آلة ضخمة متطورة ومبرمجة وذات مواصفات عالية جديدة . هدفنا انحصر فقط في تبيان الأسس التقنية لهذه الآلات . البحث الخامس والأخير خصص لقوالب المواد البلاستيكية ، وهذا موضوع هام جدا ، فالقوالب بصورة عامة باهظة التكاليف وتصنيعها يحتاج لدقة كبيرة وخبرة ممتازة بالمواد البلاستيكية وكذلك لامكانيات جيدة . لقد تحدثنا عن بعض أنواعها وخواصها وسنحاول اصدار ملحق لهذا الكتاب يتضمن الحسابات الكاملة لبعض أنواع القوالب ليكون مرجعا للمهندس .

نأمل أن نكون قد وفقنا ولو جزئيا لما سعينا له ، كما نأمل أن يحمل لنا المستقبل الكثير من التحسين والتطور والاهتمام في هذا المجال .

المؤلف

## المبحث الأول

## أهمية المواد البلاستيكية وتطورها ومقارنة ذلك بالمواد الاخرى

قبل البدء بالحديث عن المواد البلاستيكية لنتأمل الدراسة العلمية التي قام بها معهد البحث العلمي Stanford بالولايات المتحدة الأميريكية عام ١٩٦٧ حول تطور استخدام المواد البلاستيكية في المستقبل ولقد كانت النتائج بشكل مختصر على النحو التالي :

- عام ١٩٧٠ الانتاج العالمي سيكون أكثر من /٢٧/ مليون طن ( في الحقيقة ان الانتاج العالمي تعدى /٣١/ مليون طن ) .
- عام ١٩٧٥ الانتاج العالمي سيكون أكثر من /٣٨/ مليون طن ( في الحقيقة ان الانتاج العالمي تعدى /٤٥/ مليون طن ) .
- عام ١٩٨٠ الانتاج العالمي سيكون أكثر من /٨٠/ مليون طن ( في الحقيقة ان الانتاج العالمي تعدى هذا الرقم بكثير رغم الهبوط الذى أصاب انتاج المواد البلاستيكية بسبب تعاظم مشكلة البترول عالميا بالاضافة لارتفاع أسعاره .
- عام ١٩٨٥ يتوقع أن تتقارب الأرقام بين انتاج المواد البلاستيكية والفولاذ ( هنا تجدر الاشارة الى أن بعض الاحصائيات تدل على أن استهلاك المواد البلاستيكية في الوقت الحاضر تجاوز أو على وشك استهلاك الفولاذ ـ حجما ـ ) .
- عام ٢٠٠٠ المواد الاصطناعية ( بلاستيك + كوتشوك ) ستشكل 80% ( حجما ) من الاستخدامات الكلية مقابل 20% لأجل كافة المعادن الاخرى مجتمعة ( هناك تنبوء آخر يشير الى ان انتاج المواد البلاستيكية

عام ٢٠٠٠ سيتجاوز انتاج الفولاذ وزنا ) .

في الحقيقة ان هذا التطور خرج عن كل وصف وتعبير وتنبؤ فقد أصبح الأمس بعيدا عن التطور الذى يجرى اليوم ، وهذا ما دفع بالكثير من جامعات (وخاصة الفروع التي تهتم بالكيمياء والهندسة التقنية ) (١) ، اضافة الى المؤسسات العلمية والتجارية ومراكز البحوث الى الاهتمام الجاد بدراسة هذه المواد وخواصها والقيام بالأبحاث العلمية لتطوير استخدامها وتصنيعها على أفضل سبيل . ويؤسفنا القول أن الغرب احتكر هذه الصناعة لاقتصاديتها المتناهية رغم الارتفاع المضطرد بأسعار موادها الأولية ( البترول ومشتقاته ) والجدول التالي رقم (١) يلقي بعض الضوء على أماكن تمركز صناعة وانتاج المواد البلاستيكية في دول العالم المتقدم .

| البلـــد | الانتـــاج ٪ |
|---|---|
| أوربا الغربية | ٣٦ |
| اميركا الشمالية | ٣٣ |
| اليابـــــان | ١٥ |
| أوربا الشرقيـة | ١٠ |
| بقية دول العالم | ٦ |

الجدول رقم (١)

(١) : البلاستيك مادة تركيبية الصنع يهتم بتحضيرها الكيميائيون اللذيـن يحولوها بطرق البلمرة Polymérisation وبمساعدة الوسائط الكيميائية الى مركبات على شكل بودرة أو حبيبات أو صفائح أو موائع ، وهنا ينتهي دورهم ليأتي دور المهندسين اللذين يقوموا بتحويل هذه النواتج الى منتجات مختلفة وذلك بايجاد التقنية المتطورة علميا واقتصاديا . سنتجنب بقدر الامكان الخوض في علم الكيمياء المتعلق بالمواد البلاستيكية الا في حدود الضرورة .

هذا ما يؤكد علينا الحاجة الماسة للسير في هذا الطريق وتقديم بعض المعلومات المتعلقة بالمواد البلاستيكية لمهندسينا - بناة الوطن - كخطوة اولى حتى لا يجدوا أنفسهم أقل من غيرهم ، ومن ثم التطوير والبحث فغيرنا ليس أفضل منا .

لماذا المواد البلاستيكية ؟

ان ميزات المواد البلاستيكية جعلتها تزيح المواد الاخرى المختلفة عن كثير من مجالات الاستخدام وتحل محلها ، فهي مواد خفيفة الوزن ، سهلة التصنيع ، قليلة الهدر الصناعي ، اقتصادية جدا ...... ، يمكن تحسين أصناف كثير منها ( باضافة بعض المواد الاضافية Adjuvants ، وكذلك باضافة مواد التسليح المختلفة ) لتلائم كل الاحتياجات والخواص المطلوبة : فمنها القاسي والمتين ومنها المقاوم ومنها المرن .........الخ .
هذا لا يعني بالتأكيد خلوها من العيوب ، انما مقارنة الميزات مع المساوئ ( كما سنرى بالبحث الثاني - الفصل الثاني ) جعل العالم كله يتجه اليها اليها دون تردد الى درجة أصبح استهلاكها بالنسبة للفرد الواحد مقياس اقتصادي لدرجة تطور بلد ما ويعبر عنه على النحو التالي :
الاستهلاك السنوي الكلي لبلد ما من المواد البلاستيكية مقسوما على عدد السكان يعطي الاستهلاك السنوي للفرد الواحد ، كمثال : وفق الدراسات الاحصائية لبلد متطور صناعيا فان استهلاك الفرد الواحد من المواد البلاستيكية يفوق ( ٤٠ كغ ) سنويا . الجدول رقم ( ٢ ) في الصفحة القادمة يعطينا دراسة احصائية مستقبلية عن الانتاج العالمي للمواد الأكثر أهمية واستهلاك الفرد الواحد سنويا من كل منها ، كما يبين هذا الجدول مدى تطور وأهمية المواد البلاستيكية بالمقارنة مع المواد الأخرى ، على سبيل المثال لا الحصر نأخذ الأرقام التالية :

## الجدول ( ٢ )

| Population السكان | الوحدة Unités | 1966 | 1970 | 1980 | 1985 | 1990 | 2000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | مليار Milliards | 3,4 | 3,7 | 4,6 | 5,0 | 5,6 | 7,0 |
| ACIER فولاذ | millions t. مليون طن | 469 | 560 | 900 | 1130 | 1400 | 2250 |
| | kg/personne كغ/للشخص | 138 | 151 | 196 | 226 | 250 | 321 |
| | millions m3 مليون م٣ | 60 | 72 | 115 | 145 | 179 | 287 |
| | litre/personne لتر/للشخص | 18 | 19 | 26 | 29 | 32 | 41 |
| ALUMINIUM المنيوم | millions t. | 7,7 | 11,3 | 32 | 55 | 90 | 250 |
| | kg/personne | 2,2 | 3,0 | 7,0 | 11 | 16 | 36 |
| | millions m3 = | 2,9 | 4,2 | 11,9 | 20 | 33 | 93 |
| | litre/personne | 0,8 | 1,1 | 2,6 | 4,0 | 5,9 | 13 |
| CUIVRE نحاس | millions t. | 5,4 | 6,2 | 9,2 | 10,0 | 13,5 | 20,0 |
| | kg/personne | 1,6 | 1,7 | 2,0 | 2,0 | 2,4 | 2,9 |
| | millions m3 = | 0,6 | 0,7 | 1,0 | 1,1 | 1,5 | 2,2 |
| | litre/personne | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 |
| كل المعادن METAUX | millions t. | 486 | 582 | 948 | 1204 | 1514 | 2535 |
| | kg/personne | 143 | 157 | 206 | 241 | 270 | 362 |
| | millions m3 = | 64 | 78 | 129 | 167 | 215 | 348 |
| | litre/personne | 19 | 21 | 28 | 33 | 38 | 55 |
| PLASTIQUE بلاستيك | millions t. | 16,0 | 27 | 105 | 240 | 420 | 1700 |
| | kg/personne | 4,7 | 7,3 | 23 | 48 | 75 | 243 |
| | millions m3 = | 14,2 | 23,4 | 91 | 205 | 365 | 1480 |
| | litre/personne | 4,2 | 6,3 | 20 | 41 | 65 | 212 |
| CAOUTCHOUC كاوتشوك | millions t. | 3,9 | 5,5 | 11,5 | 16,0 | 23,0 | 44,0 |
| | kg/personne | 1,1 | 1,5 | 2,5 | 3,2 | 4,1 | 6,3 |
| | millions m3 = | 4,1 | 5,8 | 12,0 | 17,0 | 24,0 | 46,0 |
| | litre/personne | 1,2 | 1,6 | 2,6 | 3,4 | 4,3 | 6,6 |
| TEXTILE synthétique | millions t. | 5,6 | 7,2 | 13,0 | 17,0 | 24,5 | 46,0 |
| | kg/personne | 1,6 | 1,9 | 2,8 | 3,4 | 4,4 | 6,6 |
| | millions m3 = | 4,7 | 6,0 | 11,0 | 14,2 | 19,5 | 38,0 |
| | litre/personne | 1,4 | 1,6 | 2,4 | 2,8 | 3,5 | 5,4 |
| مواد تركيبية PRODUIT de SYNTHESE | millions t. | 25,5 | 40 | 130 | 273 | 467 | 1790 |
| | kg/personne | 7,5 | 11 | 28 | 55 | 83 | 256 |
| | millions m3 = | 23,0 | 35 | 114 | 236 | 409 | 1564 |
| | litre/personne | 6,8 | 9,5 | 25 | 47 | 73 | 224 |

انتاج المواد البلاستيكية عالميا يزداد من / ١٦٫٠ / مليون طن عام (١٩٦٦) الى / ١٧٠٠ / مليون طن عام (٢٠٠٠) .

. استهلاك الفرد الواحد سنويا يزداد من / ٤٫٧ / كغ عام (١٩٦٦) الى / ٢٤٣ / كغ عام (٢٠٠٠) .

الجدول التالي يبين نسبة الزيادة المئوية في العام لانتاج المواد البلاستيكية بالمقارنة مع بعض المواد الاخرى ، نلاحظ ان نسبة زيادة انتاج المواد البلاستيكية بالنسبة للفولاذ هي خمسة أضعاف تقريبا .

| المـــــادة | نسبة الازدياد المئوى لكل عام |
|---|---|
| الفولاذ Acier | 3 - 5 % |
| الألمنيوم Aluminium | 5 - 10 % |
| كاوتشوك Caoutchouc | 10 % |
| بلاستيك Plastique | 15 - 16 % |

<u>ماذا يعنـــــــي هذا ؟</u>

لا نجد مانجيب به الا أننا أمام مستقبل جديد بكل معنى الكلمـــــة .
قد يتساءل أحدنا بأن المواد البلاستيكية مرتبطة بصورة عامة بالبترول وهذا مصيره غير معلوم ، هنا لا بد من الاشارة الى أن انتاج المـــواد البلاستيكية في العالم كافة لم يستهلك أكثر من 4 % من الاستهلاك العالمي للبترول ، بالاضافة لذلك فهناك اتجاه لخفض استهلاك المـواد الأولية وذلك بالتوسع باستخدام مواد التسليح المختلفة (التي تعطي بنفس الوقت خواص متنوعة ووفقا للمتطلبات) ، اذن ربط مستقبل المـــواد البلاستيكية بالبترول وتوقعاته غير دقيق ، الا من ناحية ارتفاع الأسعـار وهذا بدوره يؤثر بشكل أو آخر بكل المجالات الانتاجية وليس بالمـــواد

البلاستيكية فقط .

**في أي مجال تستخدم المواد البلاستيكية ؟**

بالتأكيد لا نبالغ اذا قلنا أنه في معظم المجالات وبنسب متفاوته انها ليست فقط آلة حقن صغيرة تنتج قطع استهلاكية متنوعة ، انها تكنولوجيا جديدة بآلاتها وطرقها وقواعدها تساهم وستساهم في الصناعة بكل اشكالها وفي الزراعة وكل جوانب الحياة . في البحث الثاني ـ الفصل الثاني ـ ذكرنا بعض الاستخدامات على سبيل المثال لا الحصر لبعض أنواع المواد البلاستيكية لأن الحصر غير ممكن اطلاقا .

قبل ذكر بعض مجالات الاستخدام لا بد من الاشارة الى أن المواد البلاستيكية استخدمت في مجالات دقيقة جدا وحلت الكثير من المشاكل التي كانت تعيق التقدم في بعض المجالات نظرا لخواصها المتميزة وللقدرة على التحكم الى درجة ما بهذه الخواص .

**في مجال الطيران :** تستخدم هذه المواد ، خاصة المسلحة منها ، في صناعة الكثير من القطع المختلفة لا مجال لتعدادها ولكن يمكن الاشارة الى أن كتلة المواد البلاستيكية المستخدمة في طائرة للخطوط الجوية تتراوح بين 5-20 % من كتلتها ، أما الطائرات المروحية (الغير عسكرية ) والخاصة فان كتلتها تحتوى نسبة عالية جدا من المواد البلاستيكية ، في حين أن الطائرات الشراعية فتصنع بشكل كامل تقريبا من المواد البلاستيكية المسلحة .

**في مجال الفضاء :** التغليف ، العزل الكهربائي والحرارى واكساء بعض النماذج الالكترونية ...... الخ ، كما أن هناك بعض التطبيقات التي لها طابع فضائي خاص ( قمرة الرواد ، المسابر ، غلاف القاذف ، الحاويات

الأرصاد الجوية .... ) ، يضاف لذلك استعمالها لصنع مواسير اطلاق الصواريخ والخزانات . سعر المواد المستخدمة لهذا المجال يكون مرتفع جدا ، أما خواصها فتكون محددة بدقة وتعتمد بصورة أساسية علـــى الاجهاد الذى سيقع على المادة عند الاستعمال .

الاهتمام باستعمال البلاستيك في مجال الطيران والفضاء وفي المجال العسكرى كبير ، وهناك العديد من مراكز البحوث المدنية والعسكريـة في الدول المتقدمة صناعيا تقوم بالدراسات والأبحاث المختلفة . وقد تم ايجاد العديد من الأنواع الجديدة من المواد البلاستيكية التي تستخدم لبعض الاستعمالات الخاصة وهي غالية الثمن وغالبا غير معروفة تجاريا ولها من الخواص المميزة والدقيقة ما يناسب استعمالهـا .

<u>في المجـال البحـرى :</u> يستخدم البلاستيك المسلح خاصة بشكل واسع جدا لصناعـة القوارب الصغيرة والشخصية ، المراكب الصغيرة والمتوسطة الحجـــم ، كما يساهم بنسب عالية في البواخر السياحية بالدرجــــة الأولى وكذلك التجاريـــة . من البلاستيك المسلح كذلك تصنع المسابح بشكل كامل مع سقوفها ( انظر صفحـة ١٦٨ ) .

<u>في المجـال البرى (مواصلات) :</u> سيارة سياحية منتجـة ما بيـن عام ١٩٧٢ ــ ١٩٧٥ تحوى أكثر من ٤٠ / كغ من المواد البلاستيكيـــة موزعـة على ٢٠٠ ــ ٤٠٠ قطعـة متنوعـة ( باستثنا ء الكاوتشوك للدواليب ) وهذا لا يشكل أكثر من % 5 من وزن السيارة و % 25 من حجمها . هناك بعض النماذج من السيارات مثل Matra حيث يصل الاستخدام الى أكثر من ١٢٠ / كغ من المواد البلاستيكية . مؤخرا تم صنع هياكل سيارات رياضية وصغيرة من البلاستيك المسلح بشكل كامـل . ويجب أن لا ننسى دور المواد البلاستيكية في القطارات وعربات النقل

المنقل التابعة لها ، هياكل عربات المترو السريعة وكذلك الشاحنات الكبيرة والصغيرة وخاصة الشاحنات والصهاريج التي تحتاج للعزل الحراري لحفظ المنتجات التي تنقلها .

<u>في مجال البناء</u> : الاستعمال محدود بهذا المجال ولا يشكل اكثر من 8 % من الانتاج الكلي ومعظمه على شكل بروفيلات صفائحية مختلفة ( شفافة ببعض الأحيان ) للتغطية والوقاية والعزل ، نوافذ وأبواب ومطابخ ..... الخ ، ويتوقع أن تتجاوز النسبة 15 % خلال السنوات القادمة ( هذا باستثناء بعض الاستعمالات الخاصة مثل الشاليهات وبيوت السكن البلاستيكية ..... ) .

+++++++++++++++++++++++++++

في الحقيقة هناك مجالات أخرى كثيرة وهامة مثل : مجال القطع الصناعية المختلفة ، مجال الزراعة ، مجال الصفائح والأنابيب ، مجال التغليف بكل أشكاله ، مجال المفروشات والاستعمالات المنزلية ... الخ .

مثال : الجدول التالي يبين توزيع استخدام المواد البلاستيكية في مختلف المجالات المعروفة وذلك في فرنسا لعام ١٩٧٣ :

| مجال الاستخدام | من الانتاج الكلي |
|---|---|
| قطع صناعية مختلفة | 31 % |
| صفائح وأنابيب | 24 % |
| تغليف | 18 % |
| استهلاك متنوع | 16 % |
| البناء | 8 % |
| الدعاية | 2 % |
| الزراعة | 1 % |

من خلال هذا الجدول يمكن تدوين الملاحظات التاليـــة :

ـ الأنابيب والتغليف عرفوا تطورا كبيرا في السنوات الأخيرة .

ـ القطع الصناعية المختلفة تقريبا ضعف الاستهلاك المتنوع ، في حين أنه منذ خمسة عشر سنة كان الاستهلاك المتنوع يحتل المرتبة الأولى وهذا يبين مقدار الثقـة المتزايدة للصناعـة بالمواد البلاستيكية .

ـ نسبة الاستخدام في المجال الزراعي ازدادت مؤخرا بشكل كبير بسبب انتشار استخدام البيوت البلاستيكيـة الزراعية بعد ثبات نجاحها ، وكذلك مخازن المحاصيل البلاستيكية العادية والمطمورة .

+++++++++++++++++++++++
+++++++++++++++++++
+++++++++++++++
+++++++++++
+++++++
+++
+



## البحـــــث الثانـــــي

### الفصــــل الأول :

### الخواص الميكانيكيــة والفيزيائيـــة والكيميائيـــة العامـة للمـواد البلاستيكيــة وعلاقة هذه الخواص بتركيب هذه المواد

**اولا : تعاريـــف :**

من المفيد بالبداية تبيان باختصار بعض التعاريف العامة لبعض المفاهيم التي سترد مع محاولة تجنب قدر الامكان الدخول في التفاصيل ذات الطبيعة الكيميائيـــة ·

**المواد البلاستيكيـــة :** Matières Plastiques

هي مركبات ذات جزيئات كبيرة Macromoléculaires ( ١ ) تنتج من الريزينات Résines التي تكون محضرة كيميائيا وغالبـــا بشكل اصطناعي · يضاف للريزينات مواد اضافية مساعدة Adjuvants وذلك لتعديل الخواص ( اللدونـة ، المقاومـة الميكانيكيـة ، مقاومة الاكسدة ، الملونات ······· ) ، هذه الاضافات تستعمل كذلك لتسهيل عمليـــة التصنيع Résines + adjuvants ⟶ plastique

( ١ ) : ان اكتشاف الجزيئات الكبيرة ( STANDINGER جائزة نوبل ) يعتبر نجاح كبير قد يعادل الى حد ما عملية تحليل الذرة الى اجزاء والذى يؤدى الى تحرير طاقة هائلـة ( الطاقة الذرية ) ·

**الــريزينات : Rèsines**

وتكون مختلفــة كيميائيا لكن تجمعهــم نقطة مشتركة وهي أنها مزيج صلــب
أو سائل من جزيئات ضخمــة ذات كتلة كبيرة أو متوسطة Macromoléculaires
أى بوليميرات Polymères تشكل شبكة من طبيعة عضويــة أو نصــف
عضوية وتنتج من تفاعل طبيعي أو اصطناعــي ، مثل البلمــــــــرة
Polymérisation .

$$\text{Résines} = \sum \text{Polymères}$$

**البوليميــــر : Polymères**

هو جزيء كبير أو طويل يتكون من ترابط عدد كبير من المقاطع الأحادية
Motifs ( متشابه أو لا ) أو الجزيئات البسيطة Monomères
ترتبط مع بعضها بواسطة روابط تكافؤية Covalentes liaisons
لتشكل شبكة واضحــة مميزة قد تكون مضغوطــة أحيانا وقد يكون لها تشعبات
أحيانا اخــرى . عند ما تكون الوحدات المكونة متماثلة فالناتــج يكـــون
بوليمير Polymères وعندما تكون مختلفة فالناتــج يكون كوبوليميــــر
Copolymères .

الشكل ( ١ ) يبين عدد من الجزيئات الاحادية Monomères
المطابقة لمواد معروفــة بجانب كل منها ووفق أعداد معينــة ( n ) .

$$\text{Polymère} = (\text{Monomère})_n$$

الجزيئات الوحيدة تتألف كل منها من عدد من الذرات ومعظــم الحالات
فان الروابط التكافؤية هي التي تؤمن تجميعها .
ان مشتقات البوليميــر تتضمن بصورة رئيسية المواد البلاستيكيــة ومن ثم المواد
المطاطية ( الكاوتشوك ) وهذين الفرعين الرئيسيين مختلفين من حيث الصفات
الفيزيائية والكيميائية والميكانيكيــة .

| Polymères | Monomères |
|---|---|
| Polyéthylène | éthylène $( - CH_2 = CH_2 - )$ |
| Polypropylène | propylène $\left[ - CH_2 - \underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{CH}} - \right]$ |
| Polyepoxydes | $( - CH_2 - CH - CH_2 - )$ (CH₂ و CH مرتبطان بـ O) |
| Polyamide (11) | $\left[ - COOH - (CH_2)_{10} - NH_2 \right] -$ |

الشكل ( ٦ )

الخواص الميكانيكيـة الخاصة للمواد البلاستيكية ترتبط بطبيعة الجزيئات الكبيرة Macromoléculaires لهذه المركبات .

البلمـــرة : Polymérisation

هو هي عملية تجميع أطراف عناصر المقاطع الاحادية motifs المتماثلة أو للمونومير monoméres الذى له روابط مضاعفة تحت تأثير الحرارة ، الاشعاع الفوق بنفسجي Rayonnement Ultraviolet أو الوسائـــط المطعمـة - Catalyseur - Amorceur . عملية التجميع هذه يمكن أن تتم بصورة طبيعية ، بدون فعل خارجي ، ولكن تحتاج الـى وقت أطول بكثير .

البلمـــرة المشتركـة : Copolmérisation

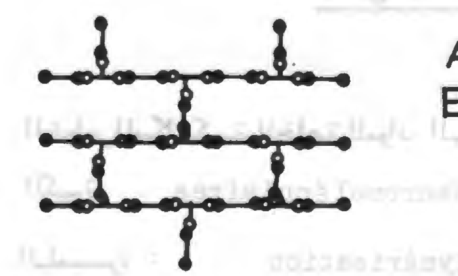
ولها نفس مبدأ البلمرة ولكن العناصر هنا monomères تكون مختلفـة A,B

وتعطي Copolymères الذى يكون وحسب التوزع النسبي للعناصر اما توزع بالصدفة Répartition Aléatoire أو توزع مطعم Greffés ( تشعبات ناجمة عن السلسلة الرئيسية المتجانسة على شكل سلاسل قصيرة من العنصر الآخر B ) .

```
AAAAAAAAA
  B   B
  B   B
  B   B
```

**التحام الأجسام : Polycondensation**

هي عملية تجميع الجزيئات بالتفاعل الذى ينتج عنه الغاء جسم بسيط من التركيب ( غالبا يكون الماء ، وسنرى تأثيره فيما بعد ) .



A
B

Polycondensat linéaire
التحام الجزيئات الخطي

Polycondensat tridimensionnel
التحام الجزيئات الثلاثي الأبعاد

**المساعدات ( المواد الإضافية ) : Adjuvants**

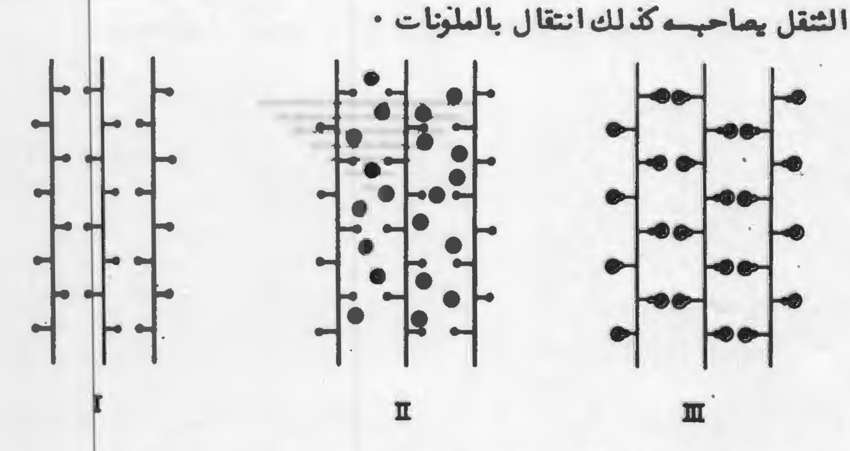
هي جزيئات صغيرة تمزج مع البوليمير لتحسين خواصه بصورة عامة ولزيادة ثباته للمحيط الخارجي . اضافة هذه المواد يمكن أن يطيل الزمن اللازم لتقهقر الخواص العامة للمادة البلاستيكية ولكن لا يمكن لها الغاء هذا التقهقر بصورة نهائية .

يمكن أن تكون هذه المواد عضوية أو عضوية ـ معدنية ، لكن كتلتها الجزيئية غالبا ضعيفة بالنسبة لكتلة البوليمير .

يستخدم في الصناعة بشكل عام نوعين رئيسيين من المواد الاضافية هما : الملدنات Plastifiants والمثبتات Stabilisants ولكن يجب الاشارة الى أن هناك مواد اخرى لا تقل أهمية لكن مجال الاستخدام أقل مثل : المزيتات Lubrifiants الملونات Colorants .

<u>الملدنـــات</u> : Plastifiants

وهي جزيئات صغيرة قد تكون من البوليميرأو لا ، صلبة أو سائلة ، كتلتها الجزيئية ضعيفة . هذه الجزيئات الصغيرة تخترق السلاسل وتخفض قوى Van Der Waals ( سنراها في الفقرة القادمة ) ، أي تضعف التفاعل الجانبي الموجود بين سلاسل الجزيئات الكبيرة macromoléculaires ، الملدنات بصورة عامة تقلل من قيمة المعامل $G_p$ وتزيد من قدرة المادة على التخامد Amortissement . تكون الملدنات غالبا متنقلة ، هذا التنقل يصاحبه كذلك انتقال بالملونات .




I — بوليميرغيرملدن . Polymère non plastifié .

II — بوليميرملدن بواسطة ارتباط جزيئي
Polymère plastifié par insertion moléculaire.

III — بوليميرملدن بواسطة تنظم جزيئي
Polymère plastifié par combinaison moléculaire.

**المثبتات :** Stabilisants

هي مواد تستخدم لتبطئة أو تأخير تحلل أو تحول البوليمير بمرور الزمن بفعل الحرارة أو الاشعاع الفوق بنفسجي ........ ، وتستخدم هذه المثبتات بكميات قليلة حيث تحقن داخل الريزينات .

**الأحمال ومواد التسليح (التقوية) :** Charges et produits de renforcement

وتستخدم هذه المواد لتحسين وتعديل الخواص الميكانيكية للمواد البلاستيكية كالقساوة السطحية ، المقاومة للاشعاعات ، الثبات الحجمي ، زيادة الصلابة والمقاومة للانهيار وسنتحدث عنها أكثر تفصيلا في البحث الثالث ــ الفصل الثاني ( البلاستيك المسلح ) .

ثانيا : قوى الا رتباط ( الا ٔلتحام ) : Forces de cohésion

١ً- قوى ضمن الجزيئات : Forces intramoléculaires

يؤ من صلابة هيكل السلسلة بواسطة قوى التكافوء الموجودة ضمن الجزيئات الكبيرة الخطية والفراغية • هذه القوى التي تعاكس تشوه المجموعة الجزيئية لها طاقة بين الذرات بحدود 100 – 200 Kcal/mole •
هذه الروابط الكيميائية قليلة التا ٔثر بدرجات الحرارة ومستقرة جدا من الناحية الكيميائية وانواعها :

١- روابط بسيطة •
٢- روابط مزدوجة •
٣- روابط ثلاثية ( نادرة جدا ) •

طاقة روابط التكافوء بين الذرات المذكورة ا ٔعلاه تعني مقاومة للانهيار تعادل / ٢٠ / ضعف للمقاومة المقاسة لمعظم المواد البلاستيكية وهذا معناه ا ٔن الا ٔنهيار لا يرتبط مباشرة مع قوى الا رتباط ضمن الجزيئات ولكن يرتبط مع القوى بين الجزيئات intermoléculaires •
بالمقابل ، فان الا نحطاط التدريجي لمركبات الجزيئات الكبيرة يؤدى الى ا ٔنهيار روابط التكافوء •

٢ً- قوى بين الجزيئات : Forces intermoléculaires

هي قوى بين مجموعات الجزيئات • معظم الخواص الميكانيكية للمواد البلاستيكية في الحالة الصلبة تعتمد بصورة ا ٔساسية على هذه القوى التي لها عدة ا ٔنواع :

١- تكافوئية ا ٔو ذات خواص تكافوئية • حالة الكاوتشوك مثلا ، حيث تتشكل جسور بالنفخ بين مختلف السلاسل كما بالشكل ( ٢ ) •

الشكل ( ٢ )

٢- روابط Van Der Waals : ( أو قوى انتشار وقدرتها 1 - 7 Kcal/mole تبعا لمهام سلاسل للكربون الموجودة ) ٠
هذه الروابط موجودة في كل البوليميرات ٠

٣- روابط الهيدروجين : تنتج من التفاعل بين الجزيئات الحاوية على « H » متحرك وذرات سالبة ( N ، O ٠٠٠٠ )،
وقدرة الروابط 5 - 10 Kcal/mole ٠

٤- روابط تأين ionique ٠

XXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXX
XXXXXXXX
XXXX
XX

## ثالثا : تصنيف المواد البلاستيكية :

في الحقيقة هناك العديد من التصنيفات لهذه المركبات كل منها يتبع الأساس المختار ، من هذه الأسس :

١ــ التركيب الكيميائي للمقاطع motifs كأساس للتصنيف .

٢ــ نموذج عملية البلمرة polymérisation كأساس للتصنيف .

٣ــ حسب المنشأ طبيعي أو اصطناعي كأساس للتصنيف .

فمثلا مهمة الـ monomère motif تسمح لنا بتصنيف البوليمير الى نوعين :

١ــ بوليمير خطي Polymère linéaire ( البلاستيك الحراري Thermoplastique ) .

٢ــ بوليمير ثلاثي الأبعاد Tridimensionnelles ( البلاستيك المتصلب حراريا Thermodurcissable ) .

لكن هناك تركيب يعتبر وسطي بين الاثنين ( بوليمير متشعب polymère ramifiée ، وبوليمير صفائحي polymère lamellaire ) لا يمكن الا بصعوبة تصنيفها لأحد النوعين السابقين .

يمكن ملاحظة أن أي تصنيف يبين وبسرعة حدوده الضيقة وبصورة رئيسية فان التصنيف يؤخذ كتابع للتطبيقات المستعمل من أجلها .

بما أن الحرارة والضغط من المؤثرات الأساسية على سلوك المواد البلاستيكية بشكل عام وخلال عمليات التصنيع التي تهمنا بالدرجة الأولى ، لذا يمكن تقسيم المواد البلاستيكية الى قسمين كبيرين يمكن فهمهما من خلال النموذجين التاليين :

١ــ من أجل المحافظة على الشكل الجديد المكتسب يجب تبريد المادة قبل ازالــة الضغط •

٢ــ الشكل يحافظ على نفسه حتى اذا أوقفنا بصورة متزامنــة فعل الضغــط والحرارة •

المواد البلاستيكية من النموذ ج الأول تدعى البلاستيك الحراري ورمزه ( T P ) •

يمكن مقارنة هذه المواد بشمع العسل Cire حيث أن هذا الشمع صلب بدرجة الحرارة العادية لكن بتأثير الحرارة فانه يليــن ويمكن أن يوضع بقالب • بالتبريد يعود ويصبح صلبا ويحافظ على الشكل الجديد المعطى له وهذه العملية يمكن تكرارها مرات غير محدودة • مواد البلاستيك الحرارى يمكن أن تسلك نفس هذا السلوك أى أن دورة التحويــل بواسطة الضغط والحرارة قابلــة للانعكاس •

المواد البلاستيكية من النموذ ج الثاني تدعى البلاستيك المتصلــب حراريا Thermodurcissable أو Thermorigide ورمزه ( T D ) •

يمكن تمثيل هذه المواد بالبيتون ، الذى هو عبارة عن مزيج الاسمنت والرمل والذى يتصلب بفعل تفاعل كيميائي مع الماء ، الاسمنت يعتبر هنا كواصــل بين حبيبات الرمل • الرمل هنا مثل الحمل Charge لتخفيض السعر وتحسين الخواص الميكانيكية للمجموعة • التعديل الذى يطرأ بلحظــة التفاعل الكيميائي مع الماء هو نهائي ، بالنتيجة جسم صلب يحافظ علــى الشكل الجديد المصبوب • ان دورة التحويل بواسطة الضغط والحــرارة غير قابلــة للانعكاس •

المقارنــة مع البيتون تهيء وسيلة ممتازة لفهم سلوك المواد البلاستيكيــة المتصلبــة حراريا مثل Baklite ( مادة بلاستيكية تصنع منها أقلام

الحبر والمقابض ..... ) ، مخصصة للقولبة (١) تتركب بواسطة وصل ناتج عن تفاعل جزيء من Phénol وآخر من Formol ممزوجين بشدة مع حمل من دقيق الخشب مثلا . عند ما يصب هذا المزيج داخل قالب وتحت تأثير فعل الحرارة والضغط يصبح بلاستيك يملأ جميع أجزاء القالب ومن ثم يستمر التفاعل بين الفينول والفورمول ، الكتلة تتصلب ، الشكل ثابت ، هذا التحول نهائي . الكتلة الناتجة لا يمكن أن تذاب مرة ثانية بواسطة الحرارة والضغط وتقاوم المحاليل الكيميائية التي تحاول تحليلها كالسابق .

البلاستيك المتصلب حراريا يتكون من جزيئات كبيرة Macromoléculaire ثلاثية الأبعاد Tridimensionnelles تحرز غالبا بواسطة التحام الأجسام Polycondensation وأحيانا بواسطة التطعيم Greffage .

هذا التصنيف للمواد البلاستيكية ( بلاستيك حراري T P وبلاستيك متصلب حراريا T D ) مهم جدا ، يحكم شروط العمل والاستعمالات الرئيسية لمختلف الريزينات .

مركبات الجزيئات الكبيرة للبلاستيك الحراري T P تكون خطية ذات شكل منتظم جزئيا Partiellement Cristallins أو غير منتظم (عديمة الشكل Amorphes ) ، في حين أن شكل الجزيئات للبلاستيك المتصلب حراريا يكون دائما غير منتظم (عديم الشكل Amorphes ) . هذا هذا التقسيم والأشكال التوضيحية المطابقة مبين بالشكل في الصفحة القادمة .

---

(١) : القولبة : هي عملية التشكيل ضمن القوالب .

composés macromoléculaires

CM

CMT

CMTA

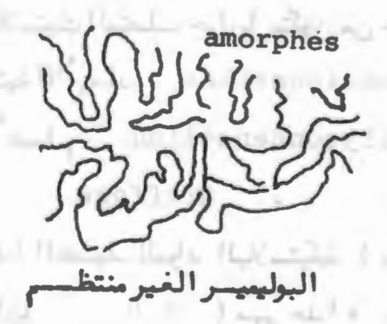
Composés macromoléculaires tridimensionnels

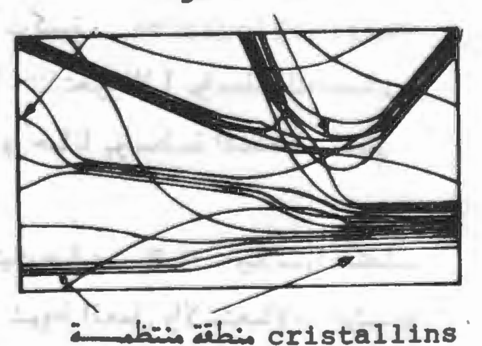
CML

Composés macromoléculaires linéaires

CMLPC

CMLA




CM — مركبات الجزيئات الكبيرة ·

CML — مركبات الجزيئات الكبيرة الخطيـة ( البلاستيك الحرارى TP ) ·

CMT — مركبات الجزيئات الكبيرة الثلاثية الابعاد ( المتصلب حراريا TD ) ·

CMTA — مركبات الجزيئات الخطية الثلاثية الابعاد الغير منتظمة ·

CMLA — مركبات الجزيئات الخطية الغير منتظمة ·

CMLPC — مركبات الجزيئات الخطية المنتظمة جزئيا ·

— مفهوم الخطية هنا هو المعنـى الهندسي للكلمة · المقصود في الحقيقة مواد جزيئاتها الكبيرة تتطور في اتجاه رئيسي مع تشعبات ثانوية أحيانـا ·

— في الحقيقة لا يوجد مركب جزيئاته منتظمة تماما ، نفس الجزيئات الكبيرة يمكن أن تشارك في منطقة منتظمة ومنطقة غير منتظمة ، من هذه المواد على سبيل المثال لا الحصـر : PA ، PP، PE ·

## رابعا : الخواص الفيزيائيـة والميكانيكيـة للمواد البلاستيكيـة :

### ٤ -١- الريولوجيـا : (١) Rhéologie

في الحقيقة ان نظرية المرونة Elasticité لهوك ( Hooke )
ونظرية اللدونة Plasticité ( Coulomb , Tresca ..... )
غير ملائمة تماما لدراسة السلوك الميكانيكي للبوليميـر من كل الوجوه ، وهناك
العديد من التوضيحات والأمثلة التي تعبر عن ذلك نذكر منها :
أن معاني ومفاهيم مثل المطاوعة ductilité والهشاشية fragilité
التي يمكن أن تجتمع في المواد التقليدية ( المعادن ) بدون غموض ، ليس
لها أي مدلول في مواد البلاستيك الحراري • بعض المطاط Silicones
مثلا يمكن شده كعجينة ، غير مرنة تماما عندما يكون الشد بطيء ، ينقطع عند
الشد السريع • لوح من ال PVC الصلب (٢) يمكن طيه حول نفسه
بدون انهيار لكنـه ينكسر بتأثير صدمة • اذا عرضنا مادة بلاستيكية لقوة
ثابتـة ، التشوه ( الانفعال ) يزداد مع الـزمن ( تشوه بطيء ) ، هذا
التشوه ليس تابع للحمـل فقط بل للزمن كذلك •
المواد البلاستيكية اذن لا تسلك سلوك الأجسام الصلبة Hooke ولا

---

(١) : الريولوجيا ( Rhéologie ) هو اسم مؤسسة علميـة تأسست
عام ١٩٢٨ لدراسة الجريان فقط • اهتمت بالزوجة المرنة Viscoélastique
واللزوجة اللدنة Viscoplasticité • هناك دراسات عديدة مكرو
مكروريولوجي Microrhéologie مهمتها ربط الظواهر الميكانيكية
الملاحظة عمليا بالتركيب الجزيئي للمادة ( كيميائيا ) •

(٢) : PVC : Polychlorure de Vinyle •

سلوك الأجسام المائعة Newtoniens • ويجب الاشارة الى أن هذا السلوك المتوسط ليس خاص فقط للمواد البلاستيكية وانما أيضا للمواد المعدنية بدرجات حرارة مرتفعة •

يمكن الاستنتاج مما تقدم أن الزمن يلعب دورا أساسيا في الخواص والسلوك الميكانيكي للمواد البلاستيكية •

<u>مثال توضيحي :</u>

عند تعريض عينة من البلاستيك الى اجهاد محوري ثابت $\sigma_0$ ، التجارب تبين أن التشوه الناتج يزداد كتابع للزمن • نفس التجربة اجريت بحالتين ، الاولى للمواد الصلبة ( التي تتبع قانون هوك Hooke ) والثانية للمواد المائعة ( التي تتبع قانون نيوتن Newton ) بينت أن التشوه ( الانفعال ) في الحالة الاولى $\varepsilon_0$ يبقى ثابت ويحدد بالعلاقة $E = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}$

أما في الحالة الثانية فيزداد التشوه بشكل يتناسب مع الزمن بحيث أن ميل المستقيم يحدد اللزوجة الحركية " $\eta$ " للمادة وفق العلاقة :

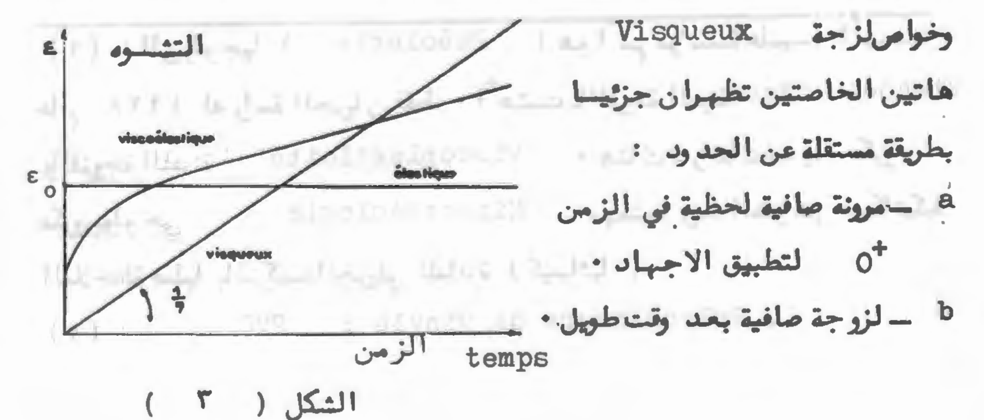
$$\sigma = \eta \frac{d\varepsilon}{dt}$$

الشكل ( ٣ ) يبين منحني تجريبي متوسط بين الحالتين المثاليتين يسمح لنا بالقول أن المواد البلاستيكية تملك بنفس الوقت خواص مرنة Elastique وخواص لزجة Visqueux

هاتين الخاصتين تظهران جزئيا بطريقة مستقلة عن الحدود :

a ــ مرونة صافية لحظية في الزمن $0^+$ لتطبيق الاجهاد •

b ــ لزوجة صافية بعد وقت طويل •




الشكل ( ٣ )

في المجال الخطي ، حالة المادة يمكن أن تكون محددة بمعادلة تفاضلية وسلوك هذه المادة يمكن التعبير عنه بالنماذج الريولوجية العادية . النماذج الريولوجيــة يمكن أن تكون عناصر كهربائية ( مقاومات ، مولدات ساحة مغناطيسية .......... الخ ) أو عناصر ميكانيكية ( كالنوابض Ressorts والمخمدات Amortisseurs .......... الخ ) وهــي الأكثر شيوعا واستعمالا .

النابض Ressort ويمثل مادة صلبة تتبع قانون هوك للمرونة :

$$\sigma(t) = E_0 \, \varepsilon(t)$$

المخمد Amortisseur ويمثل مادة سائلة تتبع قانون نيوتن للزوجة :

$$\sigma(t) = \eta \, \dot{\varepsilon}(t)$$

لن ندخل كثيرا في التفاصيل لكن سنحاول اعطاء فكرة مختصـرة تعتبر خطوة البداية لهذه الدراسات مع بعض النماذج ، ولنبدأ بتعريف كل من ظاهرتي التشوه البطيء Fluage والاسترخاء ( نقصان التوتـر ) Relaxation .

التشوه البطيء : Fluage

هو التغير البطيء للتشوه $\Delta\varepsilon$ كتابع للزمن ( t ) ، لجسم يتعرض لاجهاد ثابت $\sigma_0$ بدرجة حرارة ثابتة T أي : $\Delta\varepsilon = \sigma_0 . f(t)$

حيث f(t) هو تابع التشوه البطيء La fonction du fluage

في الحقيقة ان كلمة fluage غالبا تطلق على كل التشوهات المستمرة الناتجة عن عوامل غير محددة .

دراسة هذه الظاهرة مخبريا يحتاج للدقة والصبر ، حيث أن تجاربها في الشروط العادية قد تستغرق شهورا وسنين ( خاصة بالنسبة للمعادن ) .

**الاسترخاء ( نقصان التوتـر ) : Relaxation**

هو التغير المستمر لـ $\Delta \sigma$ كتابع للزمن ( t ) تحت تأثير اجهاد ابتدائي $\sigma_0$ يؤثر على الجسم بتشوه ثابت $\varepsilon_0$ وبدرجة حرارة ثابتـة T ، أي :

$$\Delta \sigma = \varepsilon_0 R(t)$$

حيث R(t) هو تابع الاسترخا ، Fonction de la relaxation

ان $\sigma$ في الحالة الصلبة تنتهي الى قيمة محددة كتابع للزمن في حين أنه في حالة السائل فان $\sigma$ تنتهي الى الصفـر ،

سنهتم بدراسة هذا التابع بشكل أكثر تفصيلا بعد قليل نظرا لأهميته بتحديد الخواص ،

**نموذج ماكسويل Maxwell :**

لدينا عمود من مادة ذات سلوك Viscoélastique لها خواص المرونـة واللزوجة مجتمعة ، تتأثر باجهاد محورى ، المعادلة العامة التي تعطـــي العلاقة بين الاجهاد والتشوه ( الانفعال ) تكون تابعا للزمن ،

سلوك نموذج ماكسويل هو نفسه سلوك المادة المذكورة ، يتألف النموذج من نابض ressort يمثل الخواص المرنة ومن مخمد amortisseur يمثل خواص السائل اللزج ، هذين العنصرين مربوطين على التسلسل لذا فان الاجهاد واحد للعنصرين في حين أن التشوه يتألف من جزئين ، أحدهما يطابق تشوه النابض والآخر تشوه المخمد ،

اذن تكون المعادلة التفاضلية العامة هي :

G

$\eta$

$$\frac{d\varepsilon(t)}{dt} = \frac{1}{G}\frac{d\sigma(t)}{dt} + \frac{1}{\eta}\sigma(t)$$

لايجاد تابع التشوه البطيء $f(t)$ فقد وجدنا بالتعريف ان الاجهاد $\sigma_0$ يكون ثابت ومشتقه يساوى الصفر وبالتالي يمكن كتابة المعادلة السابقة على النحو الآتي :

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{G} + \frac{1}{\eta}\ \frac{\sigma_0 \cdot t}{1}$$

ومنه فان تابع التشوه البطيء هو :

$$\boxed{f(t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma_0} = \frac{1}{G} + \frac{t}{\eta}}$$

لايجاد تابع الارتخاء $R(t)$ ، فقد وجدنا بالتعريف أن التشوه $\varepsilon_0$ ثابت ومشتقه يساوى الصفر وبالتالي :

$$\frac{d\varepsilon(t)}{dt} = 0 \longrightarrow \frac{1}{G} \cdot \frac{d\sigma(t)}{dt} = -\frac{1}{\eta}\ \sigma(t)$$

$$\sigma(t) = \sigma_0\ e^{-\frac{t}{\eta}/G}$$

وحيث أن : $\sigma_0 = G\ \varepsilon_0$ ، وبفرض أن : $\tau = \frac{\eta}{G}$

فيكون :

$$\boxed{R(t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon_0} = G\ e^{-\frac{t}{\tau}}}$$

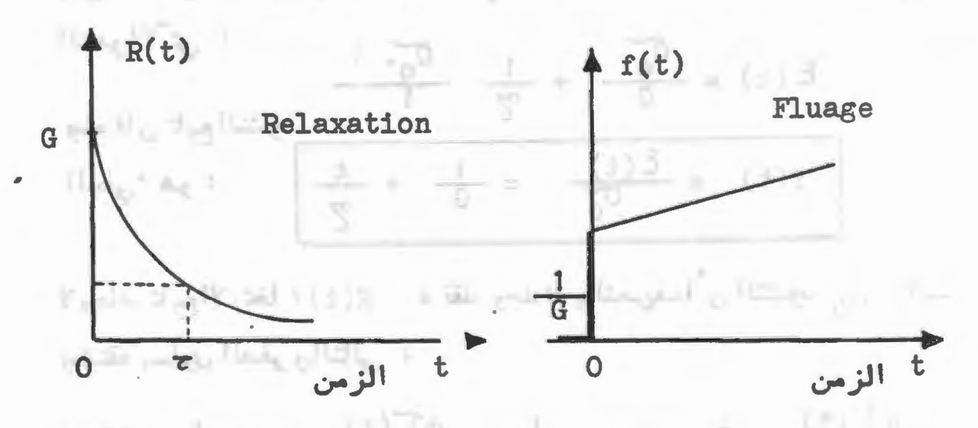
حيث : $t$ : هو الزمن .

$\tau = \frac{\eta}{G}$ : هو زمن الارتخاء . Temps de relaxation

اذا كان $t = \frac{\eta}{G}$ فان : $\frac{\sigma(t)}{\sigma_0} = \frac{1}{e} = \frac{1}{2,7} \simeq \frac{1}{3}$

وحيث أن زمن الارتخاء هو الزمن بعد أن يوثر الاجهاد الأولي $\sigma_0$ بتشوه ثابت $\varepsilon_0$ على الجسم Maxwell ، فان قيمة $\sigma(t)$ تنخفض بمقدار $\frac{1}{2,7}$ أى حوالي الثلث من قيمتها بالبداية : $\frac{\sigma(t)}{\sigma_0} \simeq \frac{1}{3}$

يمكن تمثيل كل من تابعي التشوه البطيء $f(t)$ والارتخاء $R(t)$ بالنسبة لنموذج ماكسويل بيانيا بالنسبة للزمن على النحو الآتي :




**مثـال للحـــل :**

عمود من مادة ذات سلوك Viscoélastique لها خواص المرونة واللزوجة مجتمعة ، تتأثر باجهاد محوري . سلوك هذه المادة يمثل بنموذج Kelvin الذى يتألف من نابض يمثل الخواص المرنة ومن مخمد يمثل الخواص اللزجـة ، هذين العنصرين مربوطين على التوازي أي أن التشوه للنابض وللمخمد واحـده في حين أن الاجهاد $\sigma$ يتألف من جزئين أحدهما للنابض والآخر للمخمـد .

المطلوب : ١ ـ ايجاد المعادلة التفاضلية العامة لسلوك مادة العمود .

٢ـ ايجاد تابع التشوه البطيء $f(t)$ .

٣ ـ ايجاد تابع الارتخاء $R(t)$ .

٤ـ التمثيل البياني لكل من $f(t)$ و $R(t)$ بدلالة الزمن $t$ .

## تطبيـــــــــق عملـــــــي

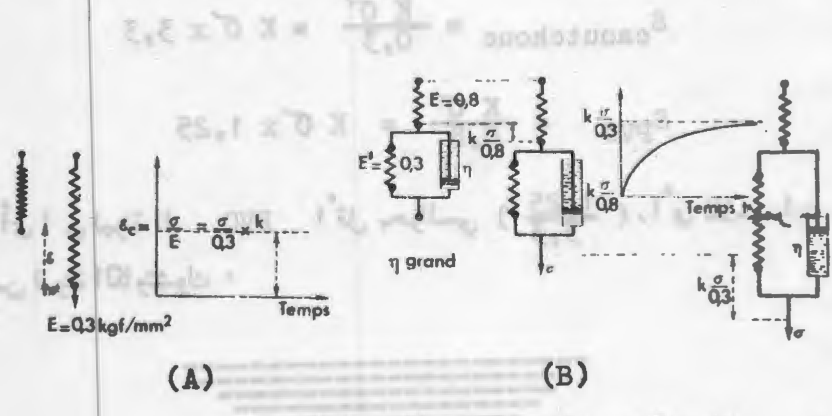
مقارنـة بين جسم مرن وجسم لزج – مرن من ناحية الليونـة ( الملاحظة بالانحنا ء يدويا ) .

ان هذه المواد ممثلة بالتتابع بواسطة نابض وجسم Voigt . الليونـة متناسبة مع القابلية للتشوه $\mathcal{E}$ والمتناسبة بدورها مع الاجهاد $\sigma$ وكذلك متناسبة عكسيا مع المعامل E .

$$S = K\,\mathcal{E} = K\,\frac{\sigma}{E}$$

**الليونة الساكنة Souplesse statique ( انحنا ء بطيء باليد ) :**

بعد احداث تشوه مستمر بتأثير ضغط الماء $\sigma$ في قناتيـــن متماثلتين ، الأولى من الكاوتشوك حيث $E = 0,3\ Kg_f\ /mm^2$ . والثانية من الـ PVC اللدن حيث $E' = 0,3 .\ E = 0,8\ Kg/mm^2$




(A) (B)

A – الليونة النسبية لانبوب من الكاوتشوك .

B – الليونة النسبية لانبوب من الـ PVC .

( قيمـة $\eta$ كبيرة ) ، من الشكل السابق يمكن ملاحظة الليونة كالتالـي :

$$S_{caoutchouc} = \frac{K\,\sigma}{E} = K\,\sigma \times 3,3$$

$$S_{PVC} = K\left(\frac{\sigma}{0,3} + \frac{\sigma}{0,8}\right) = K\,\sigma\,\frac{1,1}{0,24}$$

$$\simeq K\,\sigma \times 5$$

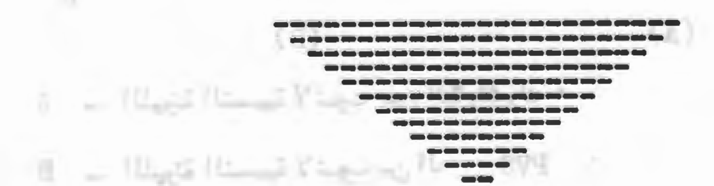
أى أن ال PVC أكثر ليونة من الكاوتشوك بمقدار $\frac{5}{3,3} = 1,5$ مرة تقريبا .

<u>الليونة الحركيـة Souplesse dynamique ( انحنا ، سريع جدا باليد )</u> : ويقصد بها الليونة اللحظية حيث أن المرونة المتأخرة لا تدخل بالحساب :

$$S_{caoutchouc} = \frac{K\,\sigma}{0,3} = K\,\sigma \times 3,3$$

$$S_{PVC} = \frac{K\,\sigma}{0,8} = K\,\sigma \times 1,25$$

أى ا ن ليونة ال PVC أقل بحوالـي ( $\frac{1,25}{3,3}$ ) ,أى ثلاث مرات من ليونة الكاوتشوك .



**تابع ومعامل الاسترخاء : Fonction , Module de relaxation**

نقول أن هناك ارتخاء بالمادة عند ما يأخذ توازن الذرة زمنا ملحوظا ليتقبل تغير مفروض للشروط الخارجية . لنأخذ منحني الشكل ( ٤ ) يمثل الارتخاء $G_R(t)$ كتابع للزمن $t$ ، يمكن تمثيل هذا وفق المعادلة التالية :

الشكل ( ٤ )

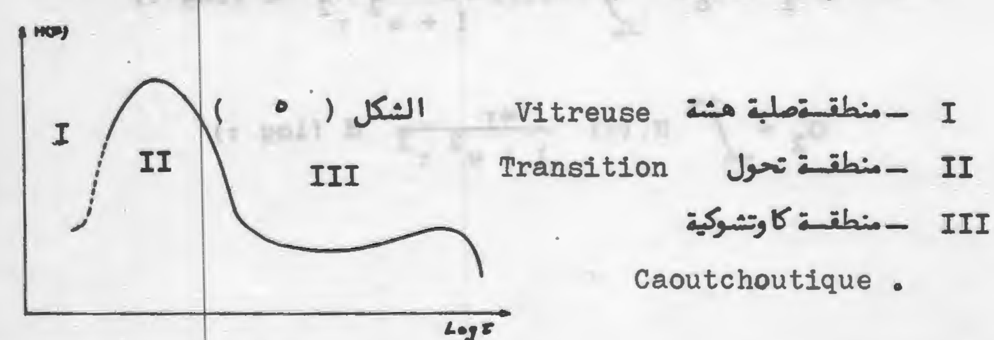
$$G_R(t) = G_0 + \psi(t)$$

التابع $\psi(t)$ دائما متناقص ويمكن تمثيله بمعادلة تكاملية من النموذج التالي :

$$\Psi(t) = \int_0^{\infty} H(\tau) e^{-\frac{t}{\tau}} d(\log \tau)$$

حيث : $H(\tau)$ تابع توزع الارتخاء distribution de relaxation ويسمح بتقدير كثافة عملية الارتخاء من أجل الزمن $(\tau)$ الذي يدعى بزمن الارتخاء temps de relaxation ، هو من خواص المادة البلاستيكية لدرجة حرارة معطاة .

الشكل ( ٥ ) يبين شكل التابع $H(\tau)$ من أجل البلاستيك الحراري TP كتابع للوغاريتم زمن الارتخاء $(\log \tau)$ . موضع المناطق المبينة على الشكل يعتمد على درجة الحرارة (ستدرس اكثر تفصيلا فيما بعد ) .



الشكل ( ٥ )

رأينا سابقا أن المادة ذات السلوك Viscoélastique هي عبارة عن مجموع مادتين أساسيتين : صلبة Hookien وسائلة Newtonien رياضيا يمكن تبيان أن المعادلة التي تبين الحالة لهذه المادة هي معادلة تفاضلية خطية بعوامل ثابتة ، حل هذه المعادلة من أجل تشوه ثابت مفروض ( حالة الارتخاء ) يمكن كتابته بشكل سلسلة من التوابع الأسية التي يتميز كل منها بالسعة والزمن الثابت .

على الحدود يمكن وضع التابع على الشكل التالي :

$$G_r(t) = G_o + \int_{-\infty}^{+\infty} H(\tau)\ e^{-\frac{t}{\tau}}\ d\ (\log \tau)$$

حيث: $G_o$ هو الحل المستمر للمعادلة التفاضلية .

كل حد هو عبارة عن جزء حقيقي وآخر تخيلي ، وباستخدام تحويـــلات Stieltjes يمكن الحصول على التوابع العقدية التالية :

$$G^* = G_1 + i\ G_2$$

$$G^*\ (i\omega) = i\omega\tau \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{H(\tau)}{1 + i\omega\tau}\ d\ (\log \tau) + G_o$$

وبالتحليل نجد :

$$G_1 = G_o + \int_{-\infty}^{+\infty} H(\tau)\ \frac{\omega^2\ \tau^2}{1 + \omega^2\ \tau^2}\ d\ (\log \tau)$$

$$G_2 = \int_{-\infty}^{+\infty} H\ (\tau)\ \frac{\omega\tau}{1 + \omega^2\ \tau^2}\ d\ (\log \tau)$$

نموذ ج زينيــر الخطي ZENER :

يكون سلوك المادة ممثلا بعلاقة خطية عند ما يحقق التجميع L'additivité للاجهادات والتشوهات من جهة ، وقابليتهم للانعكاس ( العودة الى الصفر) من جهة أخرى .

نموذ ج زينيــر الهام Zener يمثل جسم صلب لـ Hooke مربوط على التسلسل مع نموذج Kelvin أو Voigt والذى رأ ينا ه من خلال المثال للحل صفحة ( ٣٠ ) ( ويتألف من نابض ومخمد مربوطين على التوازى ) . المعادلة التفاضلية للحركة لنموذ ج زينيــر الشكل ( ٦ ) تكتب بالشكل التالي :

$$\sigma + \tau_{\varepsilon} \dot{\sigma} = G_R (\varepsilon + \tau_{\sigma} \dot{\varepsilon}) \qquad (1)$$

حيث :

$\sigma$ : الاجهاد .

$\varepsilon$ : التشوه (الانفعال) .

$\tau_{\varepsilon}$ : زمن الارتخاء للاجهاد تحت تشوه ثابت.

$\tau_{\sigma}$ : زمن الارتخاء للتشوه تحت اجهاد ثابت .

$G_R$ : معامل المرونة بحالة الارتخاء . (معامل الصلابة ) .

من السهل تبيان أن :

$$G_I = G_R \frac{\tau_{\sigma}}{\tau_{\varepsilon}} \qquad (2)$$

الشكل ( ٦ )

حيث : $G_I$ : هو معامل المرونة اللحظي ( بحالة عدم الارتخاء ) .

في حالة التحريض الدوري Sollicitation périodique يمكن البحث عن حلول للمعادلة ( ١ ) من الشكل التالي :

$$\sigma = \sigma_0 \text{ expi } (\omega t) \qquad \varepsilon = \varepsilon_0 \text{ expi } (\omega t - \phi) \qquad (3)$$

يمكن اذن كتابة معادلة السلوك بالشكل $\sigma = G(t)\ \varepsilon$

حيث $G$ هي :

$$\bar{G} = \frac{\sigma}{\varepsilon} = G_R \frac{1+i\omega\tau_\sigma}{1+i\omega\tau_\varepsilon} = G_1 + iG_2 \qquad (4)$$

هذا النموذج العقدى $\bar{G}$ يتكون من جزء حقيقي $G_1$ ( المعامل الديناميكي ) وجزء تخيلي $G_2$ .

بفرض أن : $\Delta\tau = \tau_\sigma - \tau_\varepsilon$ ، $\tau^2 = \tau_\sigma \tau_\varepsilon$ فيكون :

$$\bar{G} = G_R \frac{1+\omega^2\tau_\sigma^2}{1+\omega^2\tau^2} + i\, G_R \frac{\omega\Delta\tau}{1+\omega^2\tau^2} \qquad (5)$$

يمكن الحصول على العلاقات التقليدية لـ Debye :

$$\text{tg } \phi = \frac{G_I - G_R}{2G} \quad \frac{2\omega\tau}{1+\omega^2\tau^2} = \frac{G_2}{G_1}$$

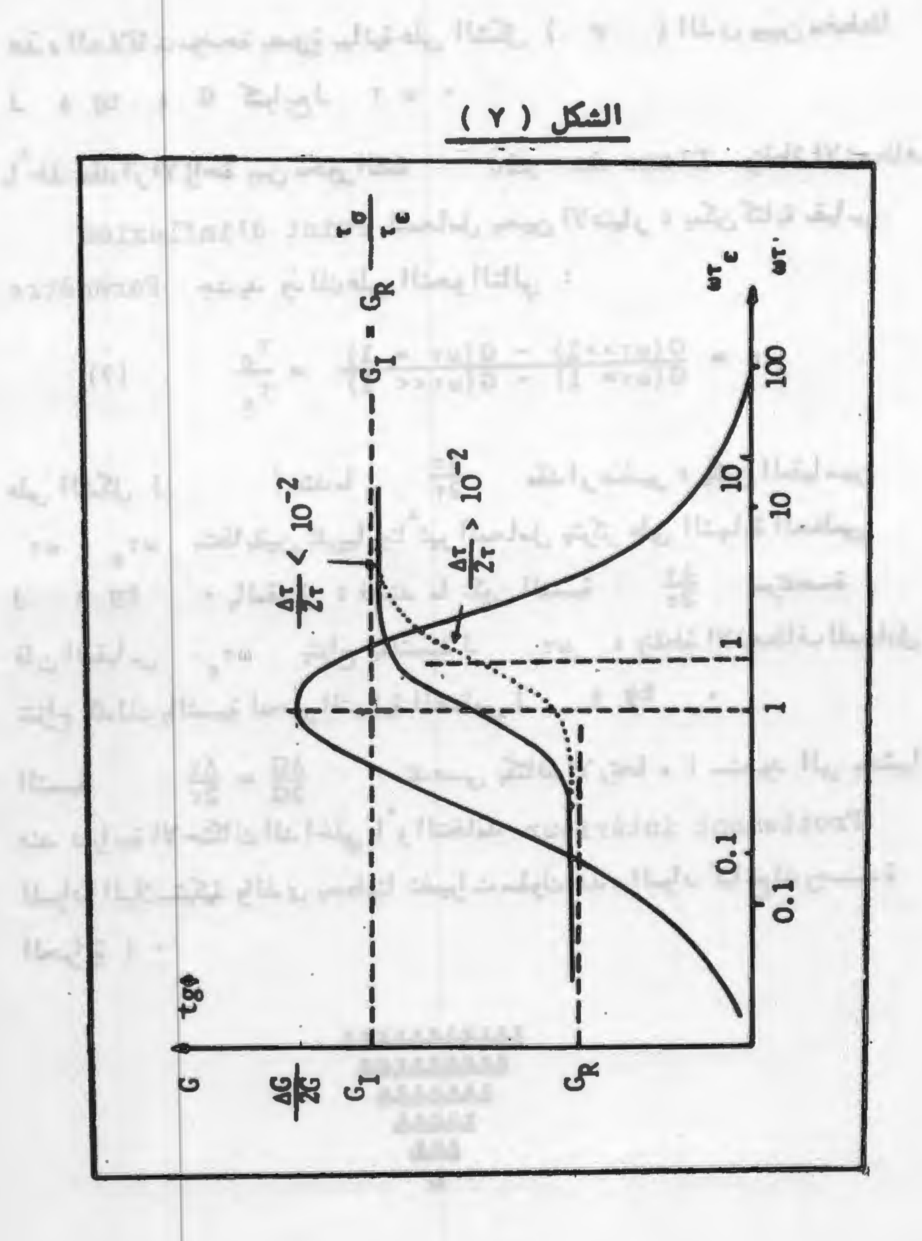
في حالة الارتخاء الكبير للاجهاد ( في درجات الحرارة المرتفعة أو لبعض أنواع المواد البلاستيكية في درجات الحرارة الاعتيادية ) ، فان التقريب $\tau_\sigma \approx \tau_\varepsilon$ يصبح غير مقبول وتصبح علاقات Debye على النحو التالي :

$$\text{tg } \phi = \frac{G_I - G_R}{2G} \quad \frac{2\omega\tau}{1+\omega^2\tau^2}$$

$$(6)$$

$$G = G_I - \frac{G_I - G_R}{1+\frac{\tau_\varepsilon}{\tau_\sigma}(\omega\tau)^2}$$

الشكل ( ٧ )


G
tgφ
$\frac{\Delta G}{2G}$
$G_I$
$G_R$
$G_I = G_R \frac{\tau_\sigma}{\tau_\varepsilon}$
$\frac{\Delta\tau}{2\tau} < 10^{-2}$
$\frac{\Delta\tau}{2\tau} > 10^{-2}$
$\omega\tau_\varepsilon$
$\omega\tau'$
0.1
0.1
1
1
10
10
100

هذه العلاقات موضحة بصورة بيانية على الشكل ( ٧ ) الذى يبين مخططا
ل $tg\,\phi$ ، $G$ كتوابع ل $\omega\tau$ .

بأخذ مقدار الازاحة بين محور القمة L'axe du pic ونقطة الانعطاف
Point d'inflexion للمعامل بعين الاعتبار ، يمكن كتابة مقياس
Paramètre جديد وذلك على النحو التالي :

$$\eta = \frac{G(\omega\tau>>1) - G(\omega\tau = 1)}{G(\omega\tau = 1) - G(\omega\tau << 1)} = \frac{\tau_\sigma}{\tau_\varepsilon} \qquad (7)$$

على الشكل ( ) عندما $\frac{\Delta\tau}{2\tau}$ مقدار صغير ، يكون المقياسين
$\omega\tau$ ، $\omega\tau_\varepsilon$ متطابقين تقريبا وتأثير المعامل يتركز على النهاية العظمى
ل $tg\,\phi$ . بالمقابل ، فعند ما تكون النسبة $\frac{\Delta\tau}{2\tau}$ مرتفعة
فان المقياس $\omega\tau_\varepsilon$ ينزاح بالنسبة ل $\omega\tau$ ، ونقطة الانعطاف للمعامل
تنزاح كذلك بالنسبة لمحور النهاية العظمى ل $tg\,\phi$ .

النسبة $\frac{\Delta G}{2G} = \frac{\Delta\tau}{2\tau}$ تدعى بكثافة الارتخاء ( سنعود الى بحثها
عند دراسة الاحتكاك الداخلي أو التخامد Frottement intérieur
للمواد البلاستيكية والذى يعطينا تغيرات سلوك هذه المواد كتابع لدرجة
الحرارة ) .

&&&&&&&&&&&&
&&&&&&&&&&
&&&&&&&&
&&&&&
&&&
&

## ٤ ـ ٢ ـ الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمواد البلاستيكية الحرارية TP :

### ٤ـ٢ـ١ـ المواد البلاستيكية الحرارية TP الخطية ذات السلاسل الغير منتظمة Amorphe :

الخواص بدرجة الحرارة العادية : الكتلة الحجمية لهذه المواد الغير محملة أو ملونة $1-1,5\ g/cm^3$ وتكون شفافة . معامل التمدد الخطي بحدود $5-8x10^{-5}\ K^{-1}$ . (١) .

الشكل ( ٨ )

لوعرضنا هذا النوع من المواد لتجربة شد بدرجة الحرارة العادية لوجدنا ثلاثة نماذج من المخططات ، الشكل ( ٨ ) :

• (1) يطابق التشوه الهش .
(2) يطابق التشوه اللدن .
(3) يطابق التشوه المطاطي ( الكاوتشوكي ) .

١ ـ التشوه الهش : Déformation fragile :

الشكل ( ٩ ) . بدرجة الحرارة العادية .
مثل هذا التشوه يوافق بعض المواد مثل :

الشكل ( ٩ )

SAN , PMMA , PS

التمدد حتى الانهيار ضعيف وبحدود 5 % .
معامل المرونة يتراوح بين :

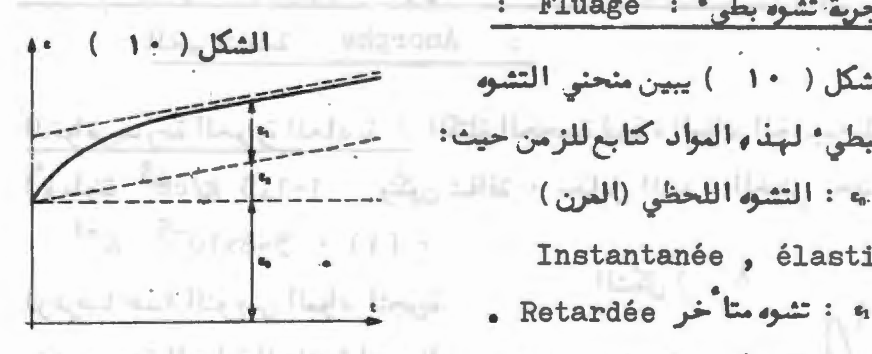
$300 - 500\ daN/mm^2$

---

( ١ ) : لأخذ فكرة عامة عن الخواص يمكن الاستعانة بجداول الخـــواص ـ نهاية الكتاب ـ لمواد الـ PVC و PS .

التشوه الهش يكون مصحوب بانخفاض طفيف بدرجة حرارة العينة يمكن قياسه ولكن بصعوبة بالغة .

تجربة تشوه بطيء : Fluage :



الشكل ( ١٠ )

الشكل ( ١٠ ) يبين منحني التشوه البطيء لهذه المواد كتابع للزمن حيث :

$\varepsilon_0$ : التشوه اللحظي (المرن) Instantanée , élastique

$\varepsilon_1$ : تشوه متأخر Retardée .

$\varepsilon_2$ : تشوه لزج Visqueuse .

سرعة التشوه البطيء تطابق زيادة التشوه بواحدة الزمن أي : $\left(\frac{d\varepsilon}{dt}\right)$ وتحدد في كل نقطة من المنحني بالميل . عمليا تحدد سرعة التشوه البطيء الوسطية $K_F$ من العلاقة :

$$K_F\,(t_2, t_1) = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{t_2 - t_1}$$

حيث : $\varepsilon_1$ $\varepsilon_2$ هي التشوهات بالأزمنة الموافقة $t_1$ $t_2$ .

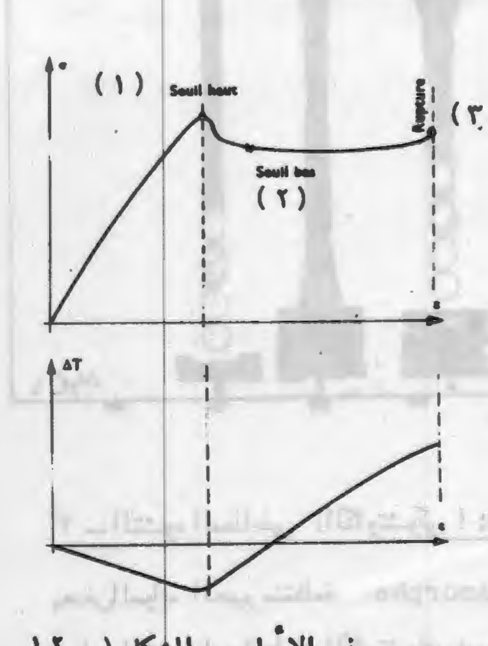
الشكل ( ١١ ) يبين منحني التشوه ـ الاجهاد لمادة الـ PMMA (مدة التجربة ١٠٠ ساعة) بدرجة حرارة 30°C . نلاحظ أن المنحني يصبح غير خطي عند 0,75 daN/mm² اذا فحصنا الخط الممثل للتشوه اللزج فنرى أن المادة تتشوه تشوها قابلا للانعكاس حتى 3,15 daN/mm² وهذا يمثل 2 % فقط من التشوه الكلي .

PMMA 30°C
t = 100 h

الشكل ( ١١ )

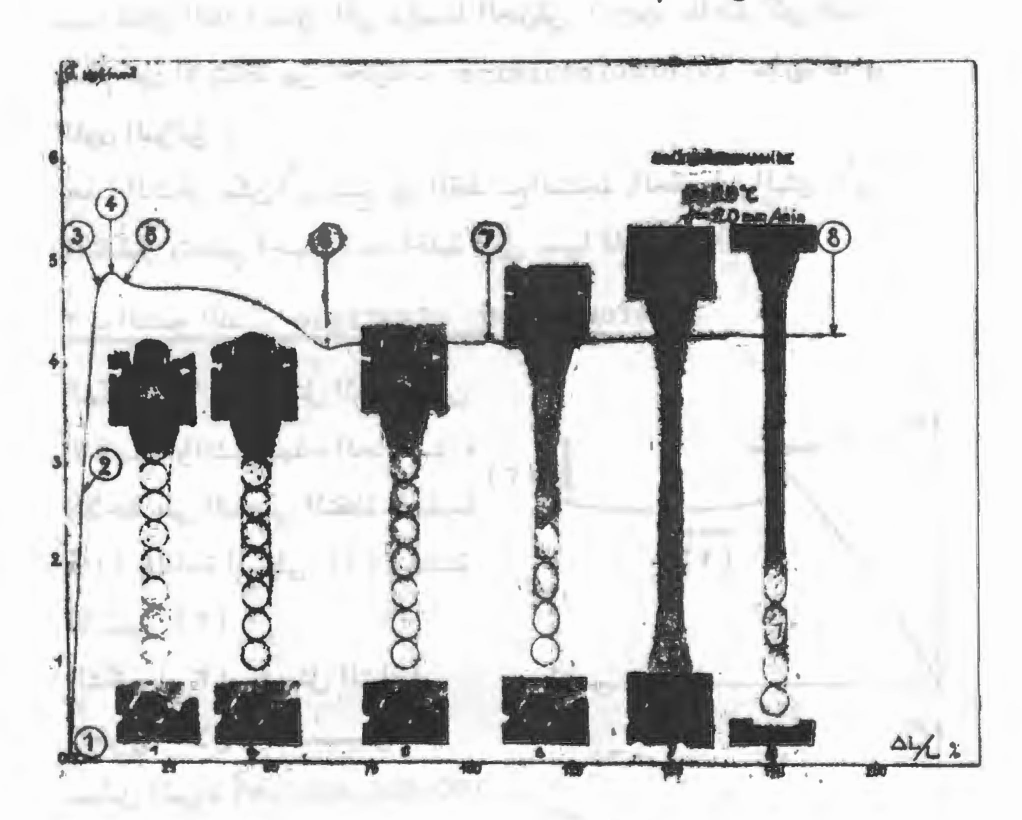
تشوه هذه المواد بدرجة الحرارة العادية يسبب شقوق رفيعة تبدأ بالظهور عند النقطة الحرجة للتمدد والتي تعتمد على سرعة التحريض المؤثـــــر • بالنسبة لـ PS و PMMA فهذه النقطة تكون عند % 0,75 •
سبب تشقق المادة يعود الى تركيبها الجزيئي ( وجود مناطق تكون فيها معظم قوى الارتباط بين الجزيئات Intermoléculaire موازية لمحور القوى المؤثرة ) •
هذا التشقق يمكن أن ينتج في القطـــع المنتجة بالحقن أو البثق أو بالتشكيل وتعطي اجهادات داخلية تكون سببا للانهيار •

## ٢ ــ التشوه اللدن Déformation plastique :



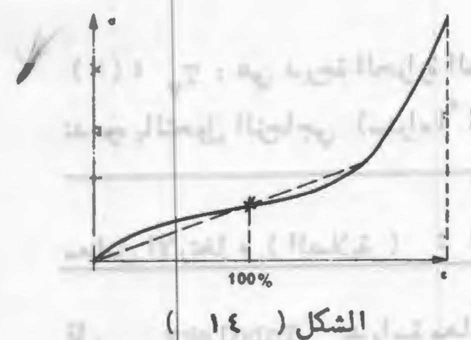

الشكل ( ١٢ ) يمثل العلاقة بين الاجهاد والتشوه بهذه الحالـــة ، ونلاحظ على المنحني النقطة العليــا ( ١ ) والنقطة السفلى ( ٢ ) ونقطــة الانهيار (٣) •
الشكل ( ١٣ ) يمثل التبادل الحراري خلال التجــــربة •
معامل المرونة : 150-300 daN/mm²
الاجهاد في النقطة العليا يساوي :
3 - 7,5 daN/mm²
التمدد حتى الانهيار % 300- 15
التمدد في النقطة العليا فقط : ــ في الأعلى ــ الشكل ( ١٢
% 30 - 15 ــ في الأسفل ــ الشكل ( ١٣

الشكل التالي يمثل صورة المراحل التي تمر بها العينة لمادة البلاستيك الحراري المنتظم ( نفسها للغير منتظم Amorphe ) ٠ أرقام العينات تتطابق مع أرقام النقاط الممثلة على المخطط ٠



## ٣ ـ التشوه المطاطي (الكاوتشوكي) : Déformation Caoutchoutique

بعض المواد الغير منتظمة Amorphe مثل : Ethylène-propylène لها سلوك مشابه لسلوك الكاوتشوك بدرجة الحرارة العادية ٠ الشكل ( ١٤ ) يمثل هذا السلوك ٠ معامل المرونة ضعيف جدا وأصغر من $1\ daN/mm^2$ ، هذا المعامل يتناقص لثلثي قيمته ثم يزداد عند التمدد




الشكل ( ١٤ )

الكبير • المعامل يحسب غالبا عند قيمة مناسبة للتمدد ، مثلا 100 % • مثل هذه المواد يمكن أن تتمدد نسبة 500 - 1000 %. مرونة الكاوتشوك هذه ناتجة عن الدوران الحر للسلاسل الجزيئية الرئيسية حيث أن قوى الارتباط بين الجزيئات ضعيفة جدا • لا مجال للدخول بتفاصيل أكثر لانه موضوع مستقل بذاته لن نتطرق له •

تأثير درجة الحرارة على الخواص الميكانيكية للبلاستيك الحراري TP ذو السلاسل الغير منتظمة Amorphe :

اذا مثلنا تغير درجات الحرارة على محور السينات وتغير الاجهاد في النقطة العليا ( ١ ) الشكل ( ١٢ ) الذى هو اجهاد الانهيار على محور العينات ، فاننا نحصل على الشكل ( ١٥ ) ، الذى يبين تغيرات اجهاد اجهاد الانهيار كتابع لدرجة الحرارة حيث يمكن أن نميز عليه ثلاثة مناطـــــق :

(1) : منطقة انهيار هش •

(2) : منطقة تشوه لدن •

(3) : منطقة تشوه كاوتشوكي •

الشكل ( ١٥ )

حيث أن اجهاد الانهيار يتغير خطيا حتى $T_1$ مع سلوك هش ، ثم حتى $T_2$ مع سلوك لدن وتكون درجة الحرارة هذه قريبة من درجة حرارة التحول الزجاجـــي ( × ) Température de transition Vitreuse ($T_V$) ومن ثم يصبح السلوك كاوتشوكـي •

(×) : $T_V$ : هي درجة الحرارة المنخفضة التي يتم عندها تحولا في المادة ندعوه بالتحول الزجاجي (سنراه أكثر تفصيلا عند دراسة الاحتكاك الداخلي) .

---

## معامل الارتخاء (الصلابة) : Module de Relaxation $G_R(t)$ :

قام Tobolsky بدراسة معامل الارتخاء حيث الزمن (t = 10s) ونرمز له ب $G_R(10)$ . الشكل (١٦) يوضح المنحني الذى يبين سلوك البلاستيك الحرارى الغير منتظم عند تغير درجة الحرارة . على هذا المنحني $\text{Log } G_R(10)\text{-}T$ يمكن تمييز خمسة مناطق لدرجة الحرارة :



الشكل (١٦)

I : منطقة حيث المادة صلب Vitreux وهش . $5\times10^9\ N/m^2 > G_R > 10^9 N/m^2$ (الحدود العليا $90^\circ C$) .

II : منطقة التحول Transition حيث: $10^9 N/m^2 > G_R > 700\times10^3 N/m^2$ (الحدود الحرارية هي : $(90 - 120^\circ C)$ للبولي ستيرين PS .

III : المنطقة الكاوتشوكية $400\times10^3\ N/m^2 < G_R$ (الحدود $120 - 150^\circ C$ للبولي ستيرين PS) . المادة ذات سلوك مطاطي Elastomère .

IV : منطقة حيث معامل الارتخاء $400\times10^3 > G_R > 50\times10^3 N/m^2$ (الحدود $150 - 177^\circ C$) ، حيث المادة ذات سلوك Viscoélastique .

V : منطقة حيث المعامل أقل من $10x10^3 N/m^2$ وحيث المادة تقريبا مائع مجرد من امكانية عودة المرونــة .

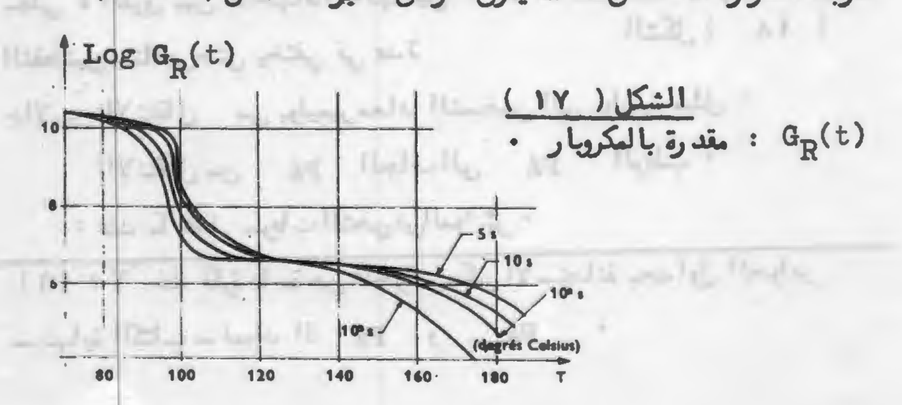
المناطــق الخمسة منفصلة عن بعضها بأربع درجات حرارة مبينة بالجدول التالي لبعض المواد البلاستيكيــة :

| المادة | I | II | III | IV |
|---|---|---|---|---|
| Polystyrène | - 90° C | 120° C | 150° C | 177° C |
| Polysulfone | - 60° C | - 40° C | 180° C | 230° C |
| Caoutchouc | - 60° C | - 40° C | 190° C | 220° C |

من أجل المطاط Elastomères ، فان شكل المنحني هو نفسه ولكــن المنطقة الكاوتشوكية تكون ممتدة أكثر .

<u>تأثير الزمــن :</u>

المجالات الحرارية التي تحدد المناطق ذات السلوك Viscoélastique تعتمد على الزمن المختار ( مثلا ١٠ ثانية في مخطط Tobolsky ) . اذا رسمنا منحني معامل الارتخا ، كتابع لتغير درجة الحرارة ولأزمنة مختلفة 1000s , 100s , 10s , 5s نلاحظ أن حدود درجات الحرارة تنزاح نحو درجة الحرارة الأخفض عند ما يكون الزمن أكبر ، الشكل ( ١٧ ) .




<u>الشكل ( ١٧ )</u>
$G_R(t)$ : مقدرة بالمكروبار .

## ٤ -٢ - ٢ - المواد البلاستيكية الحرارية TP الخطية ذات السلاسل المنتظمة (المتبلورة) Cristallins .

الخواص بدرجة الحرارة العادية : هذه المواد تكون نصف شفافة (شفافة في الطبقات الرقيقة) ، الكتلة الحجمية لهذه المواد تكون بحدود $0,9 - 2,3\ gr/cm^3$ ، وتكون بحدود الواحد لأجل Polyoléfines القيمة العظمى تكون لـ Polytétrafluoréthylène .

معامل التمدد الخطي يكون بحدود $(12 - 30)x10^{-5}\ K^{-1}$ . (١) .

منحنيات تجارب الشد لهذه المواد بدرجة الحرارة العادية تعطي فقط مخططات بنقطة بدء جريان (النقطة العليا) تكون واضحة أو غير واضحة تبين تمدد كبير قيمته بحدود % 500 - 100 الشكل ( ١٨ ) .

معامل المرونة يكون بحدود $50\text{-}350\ daN/mm^2$ .

المخططات التي بدون نقطة بدء جريان (النقطة العليا) توافق المواد الأقل انتظاماً . من أجل المواد المنتظمة فمنحني الشد يعطي نقطة عليا ونقطة سفلى ، الفرق بين الاجهادات لهاتين النقطتين يتناقص حتى يختفي في عدة حالات : الانتقال من بوليمير معاد التسخين الى بوليمير مبلل .

الانتقال من PA الجاف الى PA الرطب .

عند ما تقل سرعات التحريض المؤثر .

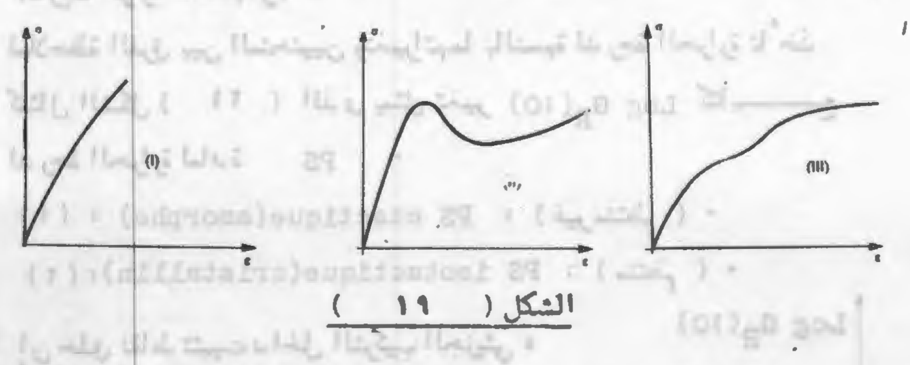
الشكل ( ١٨ )

---

(١) : لأخذ فكرة عامة عن الخواص يمكن الاستعانة بجداول الخواص - نهاية الكتاب - لمواد الـ PE و PA .

## تأثير درجة الحرارة على الخواص الميكانيكية للبلاستيك الحراري TP ذو السلاسل المنتظمة Cristallins :

ان تجارب الشد لهذه المواد بدرجات حرارة مختلفة تعطي منحنيات من نماذج مختلفة كما بالشكل ( ١٩ ) . في درجة الحرارة المنخفضة تحصل على المنحني (I) ، ثم منحنيات من النموذج (II) ، ثم غالبا (وليس دائما) منحنيات من النموذج (III) .




الشكل ( ١٩ )

اذا مثلنا اجهاد النقطة العليا (اجهاد الانهيار) على محور العينات كتابع لتغير درجة الحرارة (محور السينات) ، الشكل ( ٢٠ ) حيث يمكن أن نحدد على المنحني منطقة السلوك الهش حتى ($T_1$) ، منطقة سلوك لدن حتى ($T_2$) ، وهناك منطقة ثالثة حيث البوليمير القليل الانتظام يعطي منحني من النموذج (III) والبوليمير المنتظم جدا من النموذج (II) .

هذه المناطق تحدد بثلاث درجات للحرارة $T_1$ , $T_2$ , $T_\theta$ حيث :

$T_2$ : تطابق درجة حرارة التحول (×) .

$T_\theta$ : تطابق درجة حرارة الانصهار .

الشكل ( ٢٠ )

(×) : التحول للجزء الغير منتظم .

**معامل الارتخاء (الصلابة) : Module de Relaxation $G_R$**

ان المنحني الذى يمثل ( 10 ) $Log\ G_R$ كتابع لدرجة الحرارة للمواد ذات السلاسل الجزيئية المنتظمة يكون مسطح أكثر بكثير من المنحني المماثل للمواد الغير منتظمة (رأيناه سابقا بالشكل – ١٦ –) ، ولكنه مع ذلك يهبط بشدة وبشكل مفاجئ عند درجة الحرارة $T_\theta$ ، (درجة حرارة الانصهار) .

لملاحظة الفرق بين المنحنيين وتغيراتهما بالنسبة لدرجة الحرارة نأخذ كمثال الشكل ( ٢١ ) الذى يمثل تغير $Log\ G_R(10)$ كتابع لدرجة الحرارة لمادة PS .

(١) : PS atactique(amorphe) : ( غير منتظم ) .

(٢) : PS isotactique(cristallin): ( منتظم ) .



الشكل ( ٢١ )

إن خلق نقاط تثبيت داخل التركيب الجزيئي ، وذلك بانشاء روابط كيميائية بين السلاسل بالتعريض للاشعاع مثلا يولد بعد $T_\theta$ ظهور الحالة الكاوتشوكية ، لهذا السبب فاننا نعرض للأشعة أحيانا برفيلات البولي ايتيلين PE المبثوقة خصوصا عند تغليف الكوابل الكهربائية . في الحقيقة أن البوليمير المنتظم يبدأ باعطاء خواص كاوتشوكية قبل $T_\theta$ أى ابتداء من $T_2$ حيث يبدأ بالانصهار تدريجيا .

البوليمير المنتظم الغير شبكي الشكل Non réticulés يمر من الحالة الصلبة الى الحالة السائلة في مجال حراري صغير (خلال بضع درجات) ، البولياميد PA مثلا .

عملية تصنيع البوليمير المنتظم بطريقة التشكيل والتي تتم بدرجة حرارة قريبة من $T_\theta$ أكثر صعوبة من تصنيع البوليمير الغير منتظم .

ان دراسة توابع خصائص المواد البلاستيكية المنتظمة صعبة جدا ، حيث اننا غالبا نجد أنفسنا أمام مواد ذات تركيب منتظم وغير منتظم بنفس الوقت وعملية التمييز ليست بالبساطة التي نتصورها .

الجدول التالي يعطي قيم كل من $T_\theta$ ، $T_2$ ، $T_1$ لبعض المواد المنتظمة :

| المادة | $T_1$ | $T_2$ | $T_\theta$ |
|---|---|---|---|
| PE | -101, -97°C | 10°C | 100°C |
| PEhd | -21, +5°C | 60°C | 125°C |
| PP | -20, -1°C | 60°C | 150°C |
| PA-6/6 | -73, -66°C | 51°C | 250°C |
| PA-6 | 0 , +18°C | 46°C | 220°C |
| PA-6/10 | -32°C | 50°C | 220°C |
| PA-11 | | 50°C | 175°C |
| PTFE | -100, -82°C | 28°C | 300°C |

تقاس درجة حرارة الانصهار Température de fusion ($T_\theta$) بالاعتماد على خاصية ان البوليمير يصبح شفاف عند الانصهار .

## ٤ ـ ٣ ـ الخواص الفيزيائية والميكانيكية لمواد البلاستيك المتصلب حراريا TD :

الخواص بدرجة الحرارة العادية : سلاسل الجزيئات للمواد المتصلبة حراريا تكون غير منتظمة (عشوائية التركيب) Amorphe وبالتالي فعند ما لا تكون محملة أو ملونة فانها تكون شفافة . تحضر غالبا بعملية التحام الأجسام Polycondensation وأحيانا تستخدم عملية البلمرة بالمشاركة أو عملية الاضافة Polyaddition ( وهي عملية اضافة مونومير على سلسلة الجزيئات الكبيرة ).

الكتلة الحجمية $\rho$ ومعامل التمدد الخطي $\lambda$ لهذه المواد متقاربين مع البلاستيك الحراري الغير منتظم .

الشكل ( ٨ ) ـ ص ٣٩ ـ يمثل العلاقة بين تغير الاجهاد $\sigma$ والتشوه $\varepsilon$ لهذه المواد . والتشوه قابل للانعكاس حتى الانهيار .

الجدول التالي يعطي قيم اجهاد الانهيار في الشد $\sigma_t$ والضغط $\sigma_c$ مع معامل المرونة E لبعض مواد البلاستيك المتصلب حراريا :

| المادة | PF | MF | UF | EP | Polyester |
|---|---|---|---|---|---|
| E | 320-500 | 700-1000 | 700-1000 | 300-400 | 450 |
| $\sigma_t$ | 5,5 | 4-8 | 4-8 | 6-7 | 2,5-7 |
| $\sigma_c$ | 15-30 | 28-30 | 17-35 | 12 | 15 |
| $\varepsilon$ % | 1-1,5 % | 0,5-1 % | 0,5-1 % | 5-8 % | 5-7 % |

واحدة قياس القيم المعطاة بالجدول للاجهادات ومعامل المرونة هي ( $daN/mm^2$ ) . لأخذ فكرة عامة عن الخواص يمكن الاستعانة بجداول الخواص ـ نهاية الكتاب ـ لمواد ال MF , EP , PF .

تأثير درجة الحرارة على الخواص الميكانيكية للبلاستيك المتصلب حراريا :

الروابط ضمن الجزيئات التي تؤمن الالتحام المجموعة تتأثر قليلا بالحرارة بحيث أن كل الخواص الميكانيكية تتغير قليلا كتابع لدرجة الحرارة وذلك حتى درجة حرارة التحلل Température de décomposition والتي تكون بين 300 - 400° C .

معامل المرونة يتناقص بشكل خطي عند ارتفاع درجة الحرارة كما يبينه الشكل ( ٢٢ ) ، وكذلك اجهاد الانهيار ، وبالعكس فان التمدد حتى الانهيار يزداد قليلا .

تصنيع المواد البلاستيكية المتصلبة حراريا بالضغط والتحويل تتضمن بعد رفع درجة حرارة الريزين ، انجاز عملية التشبيك الحراري Réticulation لسلاسل المادة المقولبة . اذا تمت هذه العملية بشكل سيء فالمادة تحفظ بهذه الحالة لدونة حرارية Thermoplasticité تبقى مرافقة لها .

E

T

الشكل ( ٢٢ )

تأثير الزمن :

نتائج تجارب الشد تختلف تبعا لاختلاف سرعة التحريض المؤثر ، منحنيات النتائج التي نحصل عليها تطابق دائما تشوهات هشة ( ع ) Fragile Lhermite بين أن اجهاد الانهيار يتغير خطيا كتابع للوغاريتم سرعة التحريض المؤثر .

٤ ــ ٤ ــ بعض الخواص المرتبطة بالتركيب :

٤ ــ ٤ ــ ١ ــ تأثير الوسائط الكيميائية :

تأثير الماء : بعض المواد البلاستيكية تستطيع أن تتحلل بالماء جزئيا ، مثل حالة البولياميد والبوليستير . هذا التحلل يكون أسرع في الماء الساخن حيث تتحطم السلاسل الجزيئية وتتناقص الخواص الميكانيكية للمادة من جراء ذلك .

مثال : Polyamides

$$R_1 - CO - NH - R_2 \xrightarrow{H_2O} R_1COOH + R_2NH_2$$

البولياميد كذلك ماص للرطوبة ويحتفظ بها ، مقدار الرطوبة الممتصة يعتمد بصورة أساسية على مجموعات ال CO - NH . البولياميد PA-11 أقل قابلية لامتصاص الرطوبة من PA-6/6 .

تأثير أكسجين الهواء : Action de l'oxygène de l'air

يستطيع اكسجين الهواء أن يؤثر على المواد البلاستيكية بتأثيرها م وهو خلق مجموعات ال Carbonyles . هذا التأثير واضح مع PE و PP ويرتبط بالجزء الغير منتظم من التركيب الجزيئي . يمكن الحماية من هذا التأثير باضافة مضادات للأكسدة Anti - oxydants .

تأثير الحموض والقواعد القوية (١) : Action des acides et des bases fortes

ونميز حالتين : ١ ــ الحمض أو القاعدة يؤثر مباشرة على المادة البلاستيكية .

---

(١) : القاعدة : ما يتفاعل مع حمض ليشكل ملح .

٢ ـ الشوارد $H^+$ أو $OH^{-1}$ تكون محفز على التحلل للمادة كما في الحالة التي رأيناها سابقا ٠

مثلا : البوليستير polyester يتأثر جدا بالقواعد القوية التي تسبب التصبن (تحول المادة الدهنية الى صابون) ٠

البولياميد PA يتأثر جدا بالحموض التي تولد تحلل مجموعات الآميد ٠

المركبات ذات التركيب الجزيئي المنتظم تتحطم بالحموض٠

لا مجال للخوض كثيرا في التفاصيل الكيميائية ولكن يمكن الاستفادة من الجداول التي تعطي الخواص ـ نهاية الكتاب ـ والتي تبين تأثير الحموض الضعيفة والقوية والمحاليل العضوية على العديد من المواد البلاستيكية ٠

## ٤ ـ ٤ ـ ٢ ـ الاحتـــــراق : Combustibilité

هذا الموضوع هام جدا حيث تتبادر للذهن فورا قابلية الاحتراق عند ذكر خواص المواد البلاستيكية ٠ وحيث أنه ليس من اختصاصنا ، لذا سنذكر فقط المواد البلاستيكية مصنفة حسب قابليتها للاحتراق :

**مواد قابلة للاحتراق :** Matériaux combustibles

وهي المواد التي تحتوى بصورة عامة على الكربون والهدروجين ( PE, PS, caoutchouc ) أو والتي تحتوى على الكربون ، الهدروجين والاكسجين مثل الفينوبلاست Phénoplastes ٠

قابلية الاحتراق لهذه المواد تخف عند ما تكون المادة مسلحة (خاصة الحمل المعدني minérales ) ٠

**مواد غير قابلة للاحتراق :** Matériaux incombustibles

وهي المواد التي تحتوى بصورة خاصة الفلور ، الكلور ، الآزوت ، الفوسفور أو السيليسيوم ........ الخ ٠ مثل : PTFE, PVC, silicons ٠

مواد اطفاء ذاتـــــي : Matériaux à auto-extinction

وهي المواد التي تحترق فقط عند ملامستها بشكل مستمر لسطح بدرجة حرارة مرتفعة أو للهب مباشرة .

حقن المواد القابلة للاشتعال ببعض المواد الاضافية المختلفة يجعلها تصبح مواد ذات اطفاء ذاتـــي .

الفصل الثاني من البحث الثاني يبين خواص المواد البلاستيكية بالنسبة للاحتراق وكذلك الجداول - نهاية الكتاب - .

%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%
%%%%%%
%%%

## ٤ ـ ٥ ـ الاحتكاك الداخلي أو القدرة على التخامد :

## Frottement intérieur , Capacité d'amortissement:

المواد البلاستيكية حساسة جدا للحرارة ، لذا فدراسة سلوكها كتابع لتغير درجة الحرارة من الأمور الهامة جدا لمعرفة التحولات التي تحدث بالمادة عند كل درجة حرارة وماهي امكانية استخدامها في التطبيق والانتاج عند درجة الحرارة هذه .

عامل الصلابة مثلا ، ولأجل زمن محدد (تردد معين) ، يتناقص تدريجيا بازدياد درجة الحرارة ( هناك عدد من الحالات الاستثنائية بالنسبة فقط للبلاستيك المتصلب حراريا ) ، المنحني البياني الممثل لهذا التناقص يعطي عدد من نقاط الانعطاف ( بعضها يكون واضح جدا والبعض الآخر أقل وضوحا )عند درجات حرارة تمثل نقاط التحول (تغير التركيب من حال الى حال ) ، حيث أن معرفة هذه التحولات ودرجات حرارتها يسهل بشكل يحدد امكانية استخدام هذه المواد على الشكل الصحيح استنادا الى خواصها .

كيف نحدد درجات الحرارة للتحولات التي تتم بالمادة ؟

هناك العديد من الطرق التجريبية لقياس الاحتكاك الداخلي أو القدرة على التخامد نذكر منها :

١ ـ طريقة الاهتزاز القسري : Vibrations forcées : $10^{-3}$-$10^{3}$ Hz

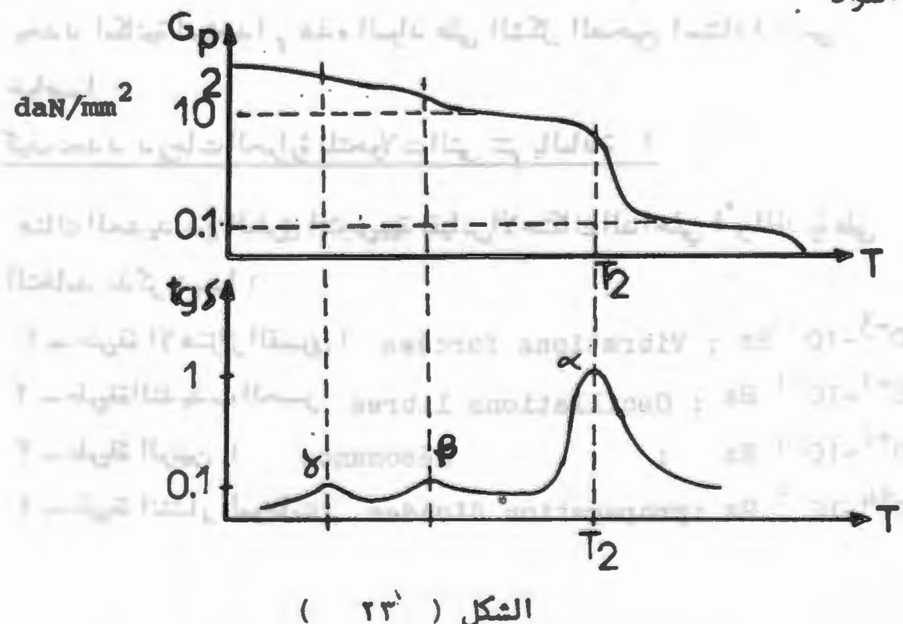
٢ ـ طريقة التذبذب الحر : Oscillations libres : $10^{-1}$-$10^{+1}$ Hz

٣ ـ طريقة الرنين : Résonance : $10^{+1}$-$10^{+4}$ Hz

٤ ـ طريقة انتشار الموجات : propagation d'ondes : $10^{+4}$-$10^{+8}$ Hz

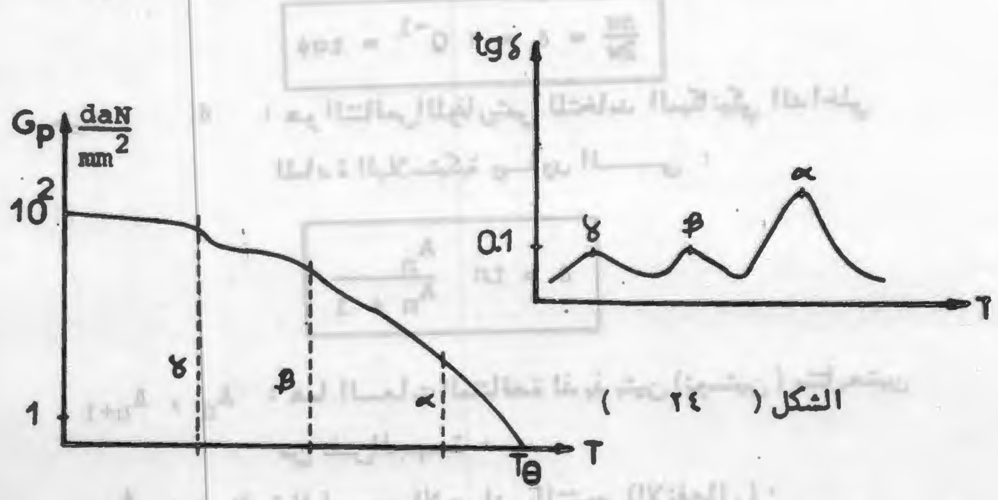
ان المنحنيات الناتجة التي تمثل تغير الاحتكاك الداخلي أو القدرة على التخامد كتابع لتغير درجة الحرارة تكون ذات تغير غير مستمر ، حيث تظهر قمم Pics (نهايات عظمى) عند درجات حرارة التحولات للمواد المدروسة ونرمز لهذه القمم بالرموز ∝ ، β ، ४ وذلك تبعا لظهورها وفق درجات الحرارة المتناقصة . اذن لهذه القمم معاني ودلائل حيث ان كل قمة تدل على تحول في مستوى التركيب الجزيئي للمادة ، وهذا يؤدى بدوره الى تغير كبيراً وصغير في الخواص بشكل عام .

الشكل ( ٢٣ ) يبين تغير معامل الارتخاء (الصلابة) $G_p$ للمواد البلاستيكية الحرارية ذات التركيب الغير منتظم Amorphe وكذلك منحني الاحتكاك الداخلي tg δ كتابعين لتغيرات درجة الحرارة ، ونلاحظ القمم ∝ ، β ، ४ كما نلاحظ على الشكل امتداد العتبة الكاوتشوكية التي تنتهي بمنطقة جريان للجزيئات توافق درجات حرارة التصنيع لهذه المواد .




الشكل ( ٢٣ )

الشكل ( ٢٤ ) يبين تغير معامل الصلابة $G_p$ للمواد البلاستيكية الحرارية ذات التركيب المنتظم Cristallin وكذلك منحني الاحتكاك الداخلي $tg\,\delta$ كتابعين لتغيرات درجة الحرارة ، ونلاحظ عدم وجود عتبة كاوتشوكية بل ان المعامل ينخفض الى الصفر حيث يتم الانصهار عند $T_\theta$ .




الشكل ( ٢٤ )

ملاحظة : طرق القياس المختلفة التي ذكرناها سابقا قد تعطي بعض الازاحات الصغيرة في المنحنيات الناتجة انما في حدود درجات حرارة قليلة .

## قياس الاحتكاك الداخلي أو قدرة التخامد بالتذبذب الحر :

في حالة التذبذب الحر Oscillations libres ( النوسان ) لمادة بلاستيكية ( تجربة فتل بواسطة نواس مركب حيث نحرض العينة المختبرة ونتركها تتخامد بشكل حر ) ، نلاحظ أن السعة تتناقص مع الزمن في كل دورة وبشكل مختلف من مادة بلاستيكية الى اخرى . اذن هناك فقد بالقدرة في كل دورة

لأسباب خارجية وداخلية . الأسباب الخارجية يمكن اهمالها (خصوصاً عند اجراء التجارب بالفراغ Sous vide ) ، أما الأسباب الداخلية والتي هي نتيجة للخواص العامة للمادة فتدعى بالاحتكاك الداخلي أو قدرة التخامد وتقاس بتقدير كمية القدرة الضائعة ($\Delta W$) بالنسبة للقدرة العظمى المعطاة ($W$) بكل نصف دورة ($\frac{\Delta W}{2W}$) وتساوى :

$$\frac{\Delta W}{2W} = \delta = \pi Q^{-1} = tq\phi$$

حيث : $\delta$ : هو التناقص اللوغاريتمي للتخامد الميكانيكي الداخلي للمادة البلاستيكية ويساوى الـــى :

$$\delta = Ln \frac{A_n}{A_{n+1}}$$

$A_n$ , $A_{n+1}$ : هما السعات المتناقصة لذبذبتين (نوستين) متتابعتين من نفس الجهة .

$\phi$ : هو زاوية الطور بين الاجهاد والتشوه (الانفعال) .

$Q^{-1}$ : عامل النوعية بالمقارنة مع الدارات التحريضية بالتيار المتناوب Circuits oscillants .

الشكل ( ٢٥ ) يبين التخامد المقاس عند درجات حرارة معينة ( وفــق الجدول المرفق ) لعدد من المواد البلاستيكية ونلاحظ أن هناك تخامد كبير جداً جداً (1) للبولي كربونات عند درجة حرارة 158° C في حين أن التخامد قليل نسبياً للـ ( PI ) عند درجة حرارة مرتفعة كثيـراً 489° C .

لفهم كيفية ايجاد ( $\delta$ ) عملياً ، نأخذ تخامد البولي ستلفون على الشكل ( ٢٥ ) ( 2 ) فنجد أن :

$A_n = 7 \qquad A_{n+1} = 4,4$

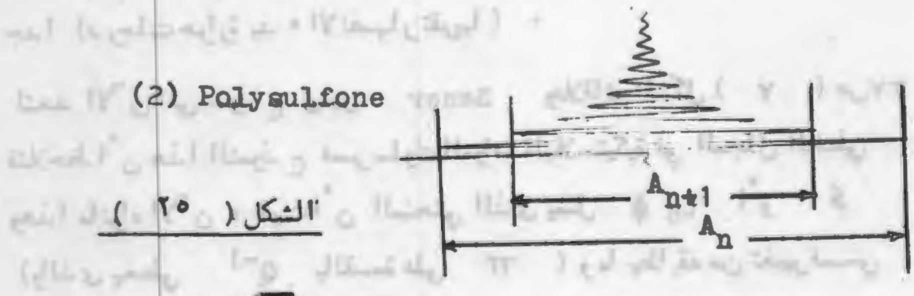
$$\delta = \text{Ln}\,\frac{7}{4,4} = 0,47 \longrightarrow Q^{-1} = \frac{0,47}{3,14}$$

$$Q^{-1} = 0,15$$

| $Q^{-1}$ | درجة الحرارة | | التخامد | المادة |
|---|---|---|---|---|
| 0,2000 | + 158° C | (1) | مرتفع جدا | Polycarbonate |
| 0,1500 | + 200° C | (2) | مرتفع | Polysulfone |
| 0,0312 | - 78° C | (3) | وسط | Polycarbonate |
| 0,0186 | + 489° C | (4) | ضعيف | Polyimides |
| 0,0036 | + 10° C | (5) | ضعيف جدا | Polyimides |



(1) Polycarbonate



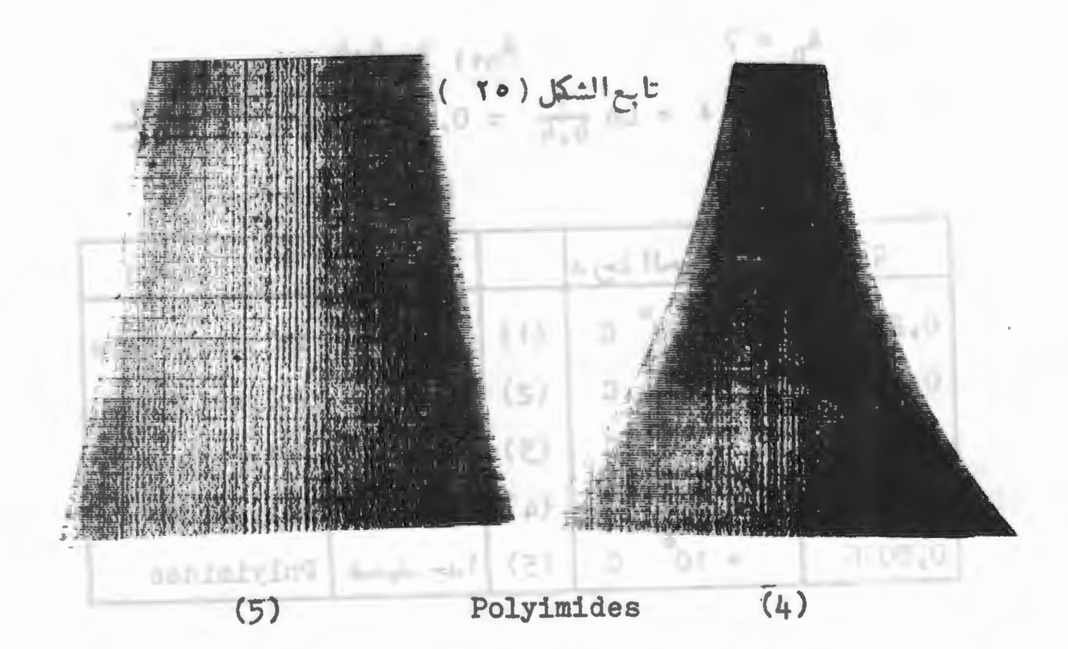

(2) Polysulfone

الشكل ( ٢٥ )

(3) Polycarbonate

_ يتبع _

تابع الشكل ( ٢٥ )



(5) Polyimides (4)

يجب الاشارة الى أن تخامد المعادن بشكل عام صغير جدا ويمثل بخطوط شبه متوازية ، انحرافها طفيف وتلتقي تقريبا عند درجات الحرارة المرتفعة جدا (درجات حرارة بدء الانصهار تقريبا ) .

لنعد الآن الى نموذج زينير Zener وعلاقاته الشكل ( ٧ ) ص٣٧ ، فنلاحظ أن هذا النموذج فسر سلوك المواد البلاستيكية في المجال الخطي وهذا مانراه الآن ، حيث أن المنحني الذى يمثل $tg\ \phi$ أو $\delta$ (والذى يعطي $Q^{-1}$ بالقسمة على $\pi$ ) وما يطابقه من تغير في معامل الارتخاء (الصلابة ) كتابع لتغير درجات الحرارة ينطبق تماما على معظم النتائج (باستثناء الحالات الغير خطية ) التي تم الحصول عليها حول التغيرات الطارئة على تركيب المواد البلاستيكية وبالتالي سلوكها وخواصها والممثلة بالقمم $\alpha$ ، $\beta$ ، $\gamma$ .

وفيما يلي نعرض بعض النتائج العملية لبعض أنواع البلاستيك ، TP و TD :

(TP) : Polyamides PA 11-12 : ( ٢٦ ) البوليا ميد : الشكل

مادة نصف منتظمة ، المنحني الممثل للاحتكاك الداخلي له ثلاثة قمم Pics ( $\alpha$ ، $\beta$ ، $\gamma$ ) واضحة جدا . كذلك المنحني الممثل لتغير معامل الصلابة له ثلاثة نقاط انعطاف .

القمة ( $\alpha$ ) عند درجة الحرارة $46^{\circ}$ C تمثل درجة حرارة التحول الزجاجي Transition vitreuse حيث مجموعات ال CO-NH تتزايد حركتها في المنطقة الغير منتظمة Amorphe .

القمة ( $\beta$ ) ناتجة عن وجود الماء ، هذه القمة تزول اذا قمنا بعملية تجفيف للمادة البلاستيكية .

القمة ( $\gamma$ ) سببها وجود مجموعات tétraméthylène $-CH_2-CH_2-CH_2-$ وطبيعة حركتها غير معروفة .

كثافة الارتخاء $\frac{\Delta G}{2G}$ هامة جدا للقمم الثلاثة ، نفس الشيء بالنسبة لارتفاع القمم وكذلك للازاحات الموجودة بين رؤوس القمم ونقاط الانعطاف لمنحنى $G_p$ ( راجع نموذج زينير Zener ) .

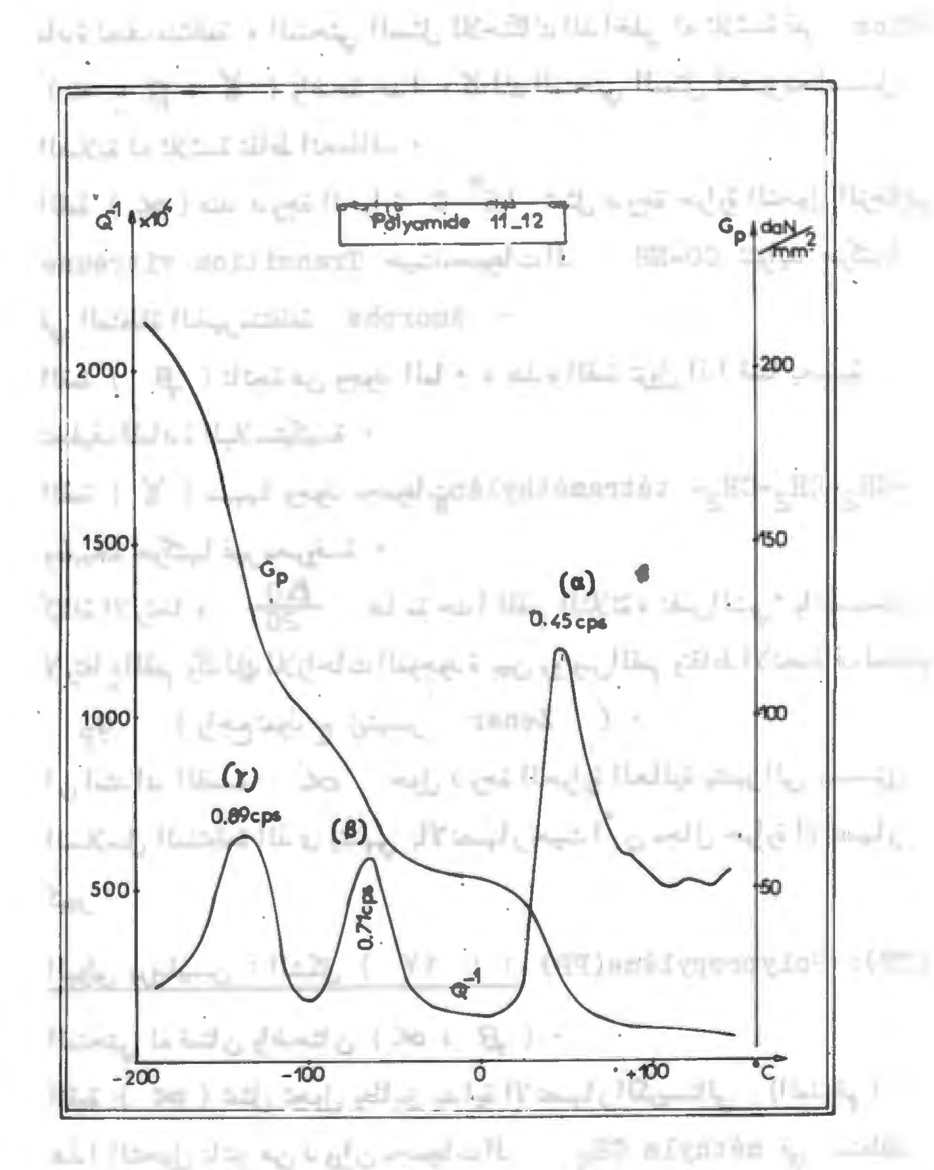
ان امتداد القمة $\alpha$ حول درجة الحرارة العالية يشير الى تمزق السلاسل المنتظمة الذى ينتهي بالانصهار حيث أن مجال حرارة الانصهار كبير .

(TP): Polypropylène(PP) : ( ٢٧ ) البولي بروبلين : الشكل

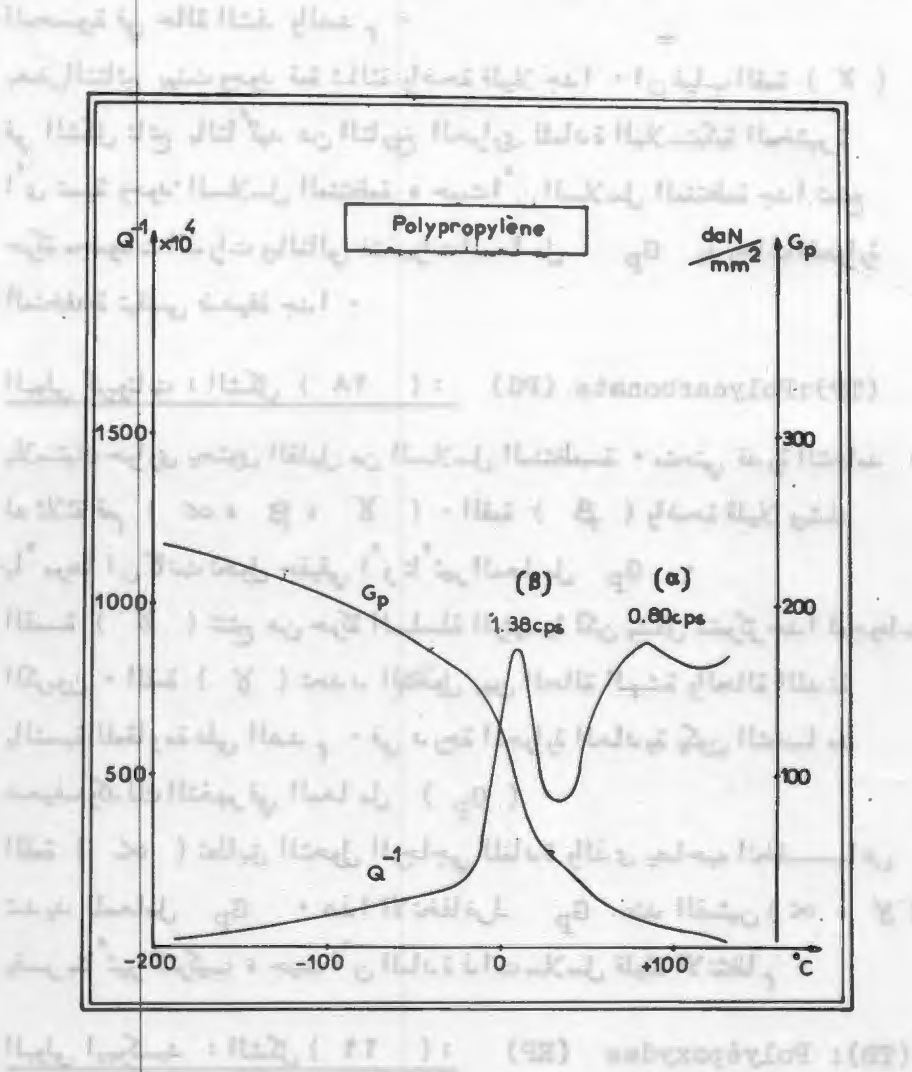
المنحني له قمتان واضحتان ( $\alpha$ ، $\beta$ ) .

القمة ( $\alpha$ ) تمثل تحول يطابق بداية الانصهار الكريستالي , (المنتظم ) . هذا التحول ناتج عن دوران مجموعات ال méthyls $CH_3$ في المنطقة المنتظمة .

القمة ( $\beta$ ) تمثل التحول الموافق لدرجة حرارة التحول الزجاجي للجزء


Polyamide 11_12
$Q^{-1}$ x10
$G_p$ daN/mm²
2000
1500
1000
500
200
150
100
50
$G_p$
(α)
0.45 cps
(γ)
0.89cps
(β)
0.71cps
$Q^{-1}$
-200
-100
0
+100
°C

الشكل ( ٢٦ )


Polypropylène
Q-1 ×10 4
daN/mm2
Gp
1500
1000
500
300
200
100
(β)
1.38cps
(α)
0.80cps
Gp
Q-1
-200
-100
0
+100
°C

الشكل ( ٢٧ )

الغيرمنتظم ، هذا التحول ناتج عن دوران قطع السلاسل في المجـــال الغيرمنتظم Amorphe وهذا يطابق درجة حرارة الهشاشية Fragilité المحسوبة في حالة الشد والصدم .

بعض النتائج بينت وجود قمة ثالثة واضحة قليلا جدا . ان غياب القمة ( $\gamma$ ) في الشكل ناتج بالتأكيد عن التاريخ الحرارى للمادة البلاستيكية المختبرة أى نسبة وجود السلاسل المنتظمة ، حيث أن السلاسل المنتظمة جدا تمنع حركة مجموعات الذرات وبالتالي فتغيرات المعامل $G_p$ بدرجات الحرارة المنخفضة تبقـى ضعيفة جدا .

<u>البولي كربونات : الشكل ( ٢٨ ) :</u> (TP):Polycarbonate (PC)

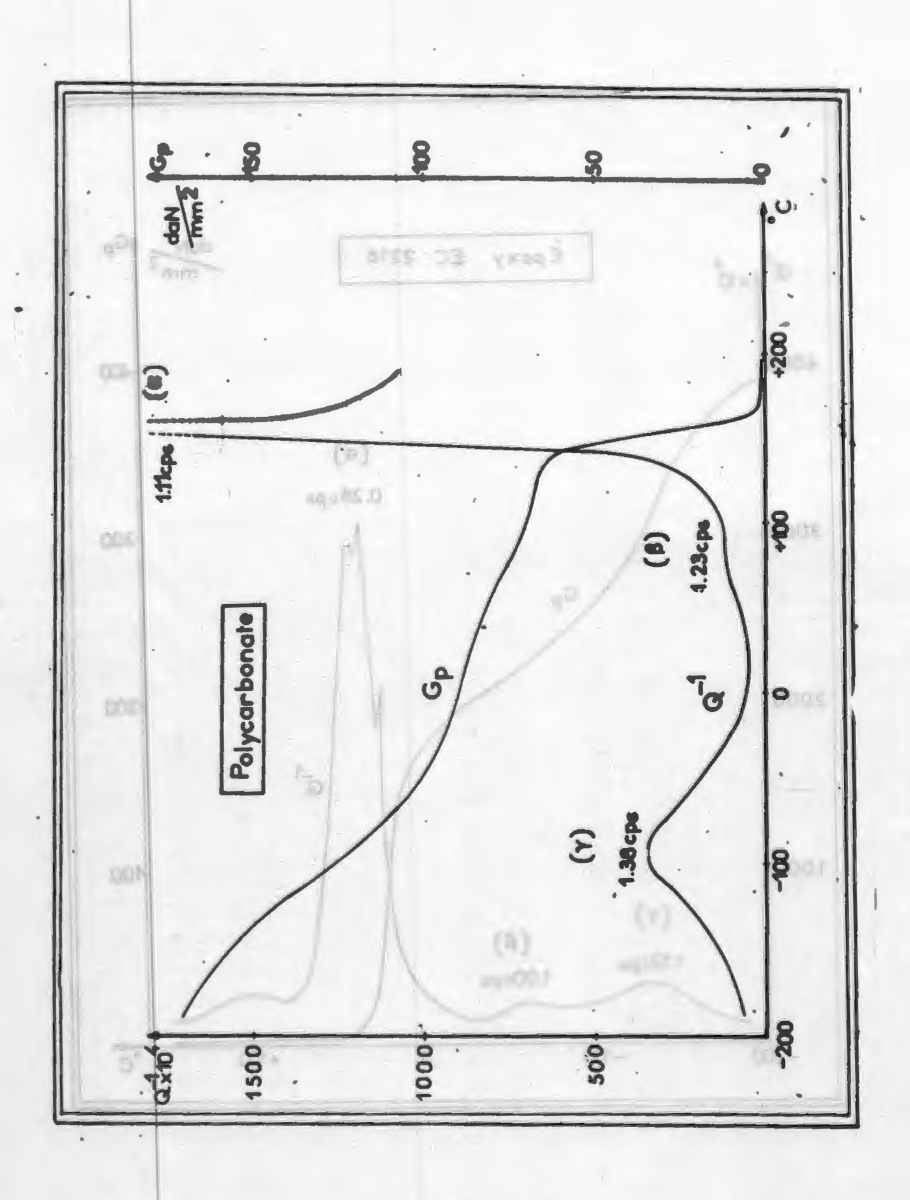
بلاستيك حرارى يحتوى القليل من السلاسل المنتظمـة . منحني قدرة التخامد له ثلاثة قمم ( $\alpha$ ، $\beta$ ، $\gamma$ ) . القمة ( $\beta$ ) واضحة قليلاً ويشك بأمرها ان كانت تحول حقيقي أو تأثير المعامل $G_p$ .

القمـة ( $\gamma$ ) تنتج عن حركة السلسلة الرئيسية لكن بشكل متمركز جدا لمجموعات الكربون . القمة ( $\gamma$ ) تحدد التحول بين الحالة الهشة والحالة اللدنة بالنسبة للمقاومة على الصدم . في درجة الحرارة العادية يكون التخـا مد ضعيف وكذلك التغيرفي المعامل ( $G_p$ ) .

القمة ( $\alpha$ ) تطابق التحول الزجاجي للمادة والذى يصاحبه انخفـــاض شديد للمعامل $G_p$ . هذا الانخفاض لـ $G_p$ عند القمتين ( $\alpha$ ، $\gamma$ ) يفسربتأثير التركيب ، حيث أن المادة ذات سلاسل قليلة الانتظام .

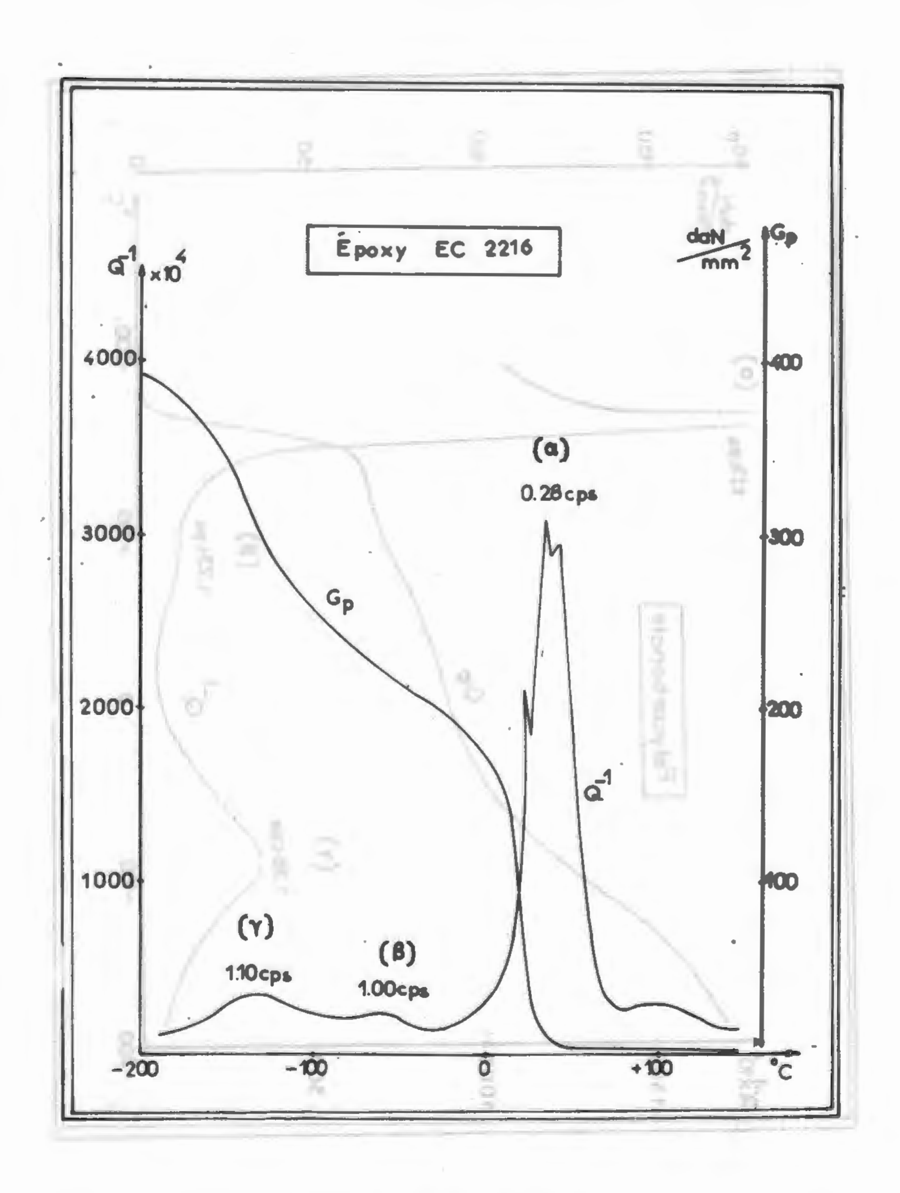
<u>البولي ايبوكسيد : الشكل ( ٢٩ ) :</u> (TD): Polyépoxydes (EP)

ويستعمل كمادة لاصقـة . منحني الاحتكاك الداخلي يبين ثلاثـة قمـم ( $\alpha$ ، $\beta$ ، $\gamma$ ) .



Polycarbonate
Gp
daN/mm²
Q⁻¹
Q⁻¹x10⁴
1.11cps
1.23cps
1.38cps
(α)
(β)
(γ)
°C
-200
-100
0
+100
+200
500
1000
1500
0
50
100
150


الشكل ( ٢٨ )


Époxy EC 2216
$Q^{-1}$ ×10⁴
daN/mm²
$G_p$
4000
3000
2000
1000
400
300
200
100
(α)
0.28 cps
$G_p$
$Q^{-1}$
(γ)
1.10cps
(β)
1.00cps
-200
-100
0
+100
°C

الشكل ( ٢٩ )

القمــة ( $\alpha$ ) حادة جدا وتمثل عدة مركبات بدون شك وناتجة عن الخواص الثلاثية الأبعاد لهذه المادة المتصلبة حراريا .

هذه المادة لها عتبة كاوتشوكية طويلة نسبيا . هذه العتبة تنتهي بصورة عامة بمنطقة جريان للجزيئات الكبيرة تطابق درجات حرارة تصنيع وإستخدام هذه المادة .

البولي ستير : (TD): Polyester

الشكل ( ٣٠ ) : يمثل البولي ستير Polyester(507 L):(A)

الشكل ( ٣١ ) : يمثل البولي ستير المسلح بالألياف الزجاجيــة :
Polyester chargé de fibre de verre (B)

منحني الاحتكاك الداخلي للبولي ستير (A) له ثلاثة قمم ( $\alpha$ ، $\beta$ ، $\gamma$ ) ، أما منحني البولي ستير (B) فله قمتان فقط ( $\alpha$ ، $\gamma$ ) : ان القمــة ( $\beta$ ) ناتجة عن وجود الماء .

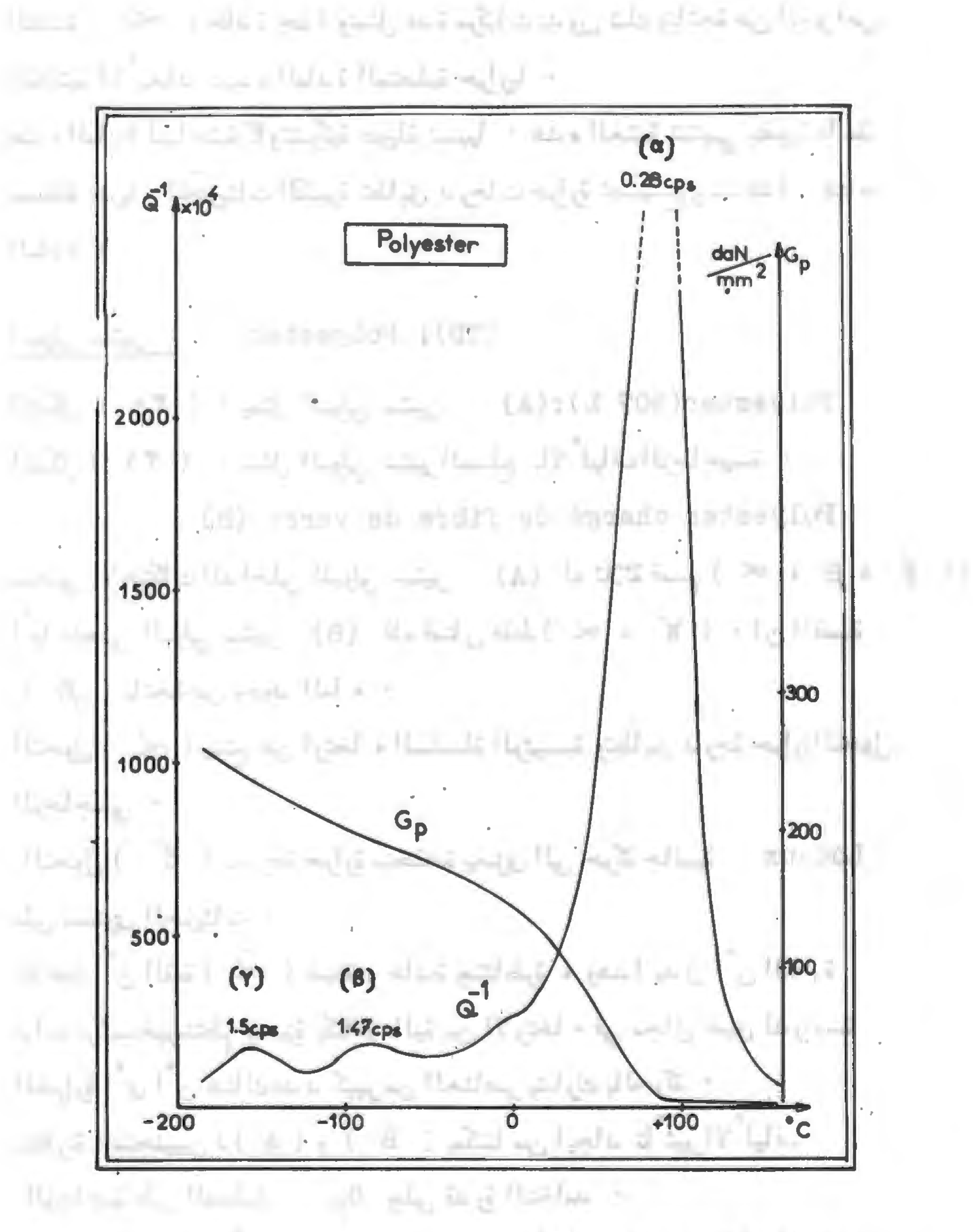
التحول ( $\alpha$ ) ينتج عن ارتخاء السلسلة الرئيسية وتطابق درجة حرارة التحول الزجاجي .

التحول ( $\gamma$ ) بدرجة حرارة منخفضة يعزى الى حركة جانبية Locaux على مستوى الجزيئات .

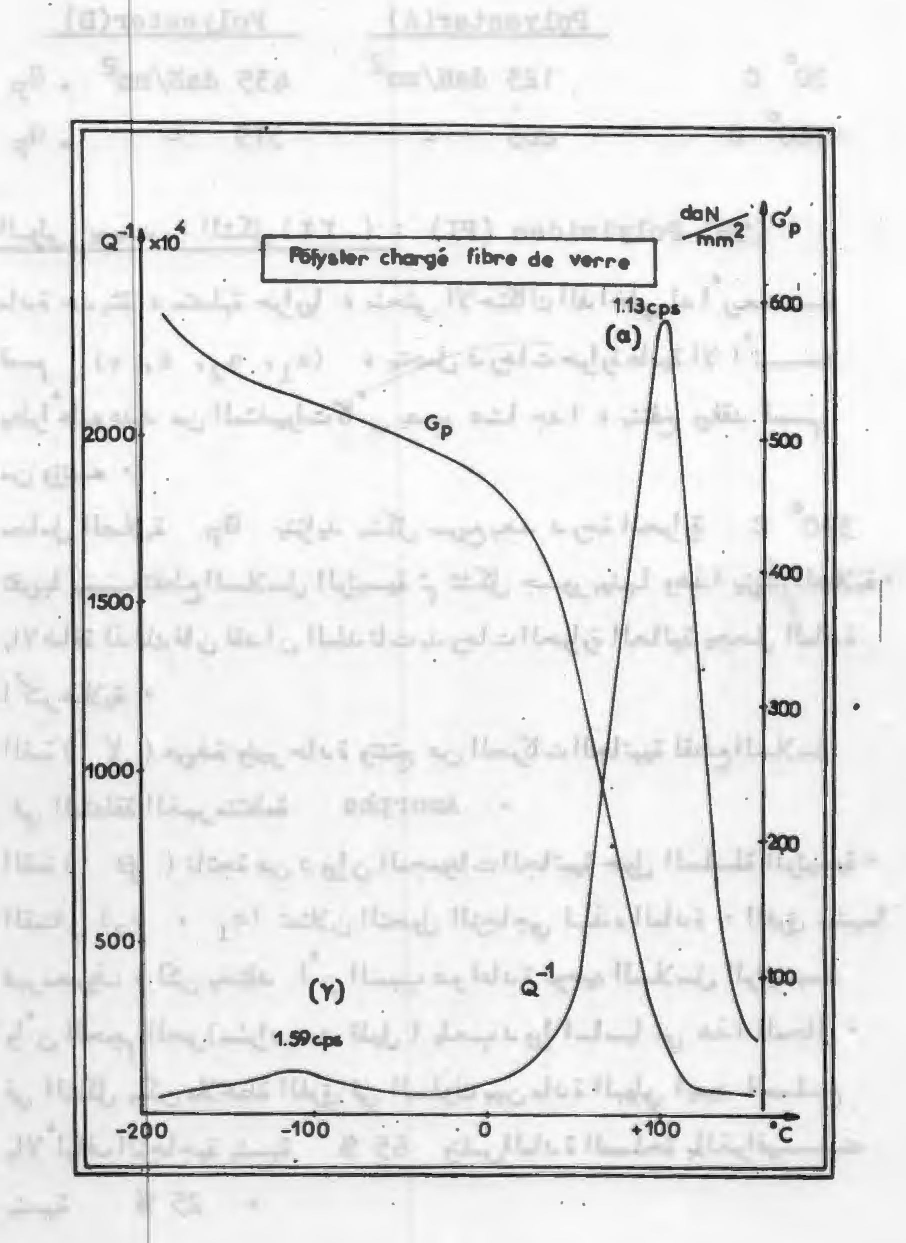
نلاحظ أن القمة ( $\alpha$ ) ضيقة وحادة ومتناظرة ، وهذا يدل أن المادة ذات تركيب غير منتظم ومميزة بكثافة عالية من الارتخاء في مجال ضيق لدرجة الحرارة أى أن هناك عدد كبير من العناصر يشارك بالحركة .

بمقارنة المنحنيين لـ( A ) و ( B ) يمكننا من ايجاد تأثير الألياف الزجاجية على المعامل $G_p$ وعلى قدرة التخامد .

الطاقة التخامدية أكثر ضعفا للبولي ستير (B) خاصة في مجال التحول الزجاجـــي .


Polyester
(α)
0.28cps
$Q^{-1}$ x$10^4$
daN/$mm^2$ $G_p$
2000
1500
1000
500
300
200
100
$G_p$
$Q^{-1}$
(γ)
1.5cps
(β)
1.47cps
-200
-100
0
+100
°C

الشكل ( ٣٠ )



Polyster chargé fibre de verre
$Q^{-1}$ x$10^4$
daN/mm$^2$
$G'_p$
1.13cps
(α)
$G_p$
$Q^{-1}$
(γ)
1.59cps
2000
1500
1000
500
600
500
400
300
200
100
-200
-100
0
+100
°C


الشكل ( ٣١ )

| | Polyester(A) | Polyester(B) | |
|---|---|---|---|
| $20^{\circ}$ C | 123 $daN/mm^2$ | 435 $daN/mm^2$ | . $G_p$ |
| $-100^{\circ}$ C | 203 = | 519 = | . $G_p$ |

البولي ايميد : الشكل (٣٢) : Polyimides (PI) (TD)

مادة حديثة ، متصلبة حراريا ، منحني الاحتكاك الداخلي له أربعة قمم $(\alpha_1, \alpha_2, \beta, \gamma)$ ، يتحمل درجات حرارة عالية الا أنه يطرأ عليه عدد من المتغيرات كأن يصبح هشا جدا ، ينتفخ ويفقد قسم من وزنه .

معامل الصلابة $G_p$ يتزايد بشكل سريع بعد درجة الحرارة $390^{\circ}$ C تقريبا بسبب تقطع السلاسل الرئيسية ثم تشكل جسور بينها وهذا يزيد الصلابة . بالاضافة لذلك فان فقدان الملدنات بدرجات الحرارة العالية يجعل المادة أكثر صلابة .

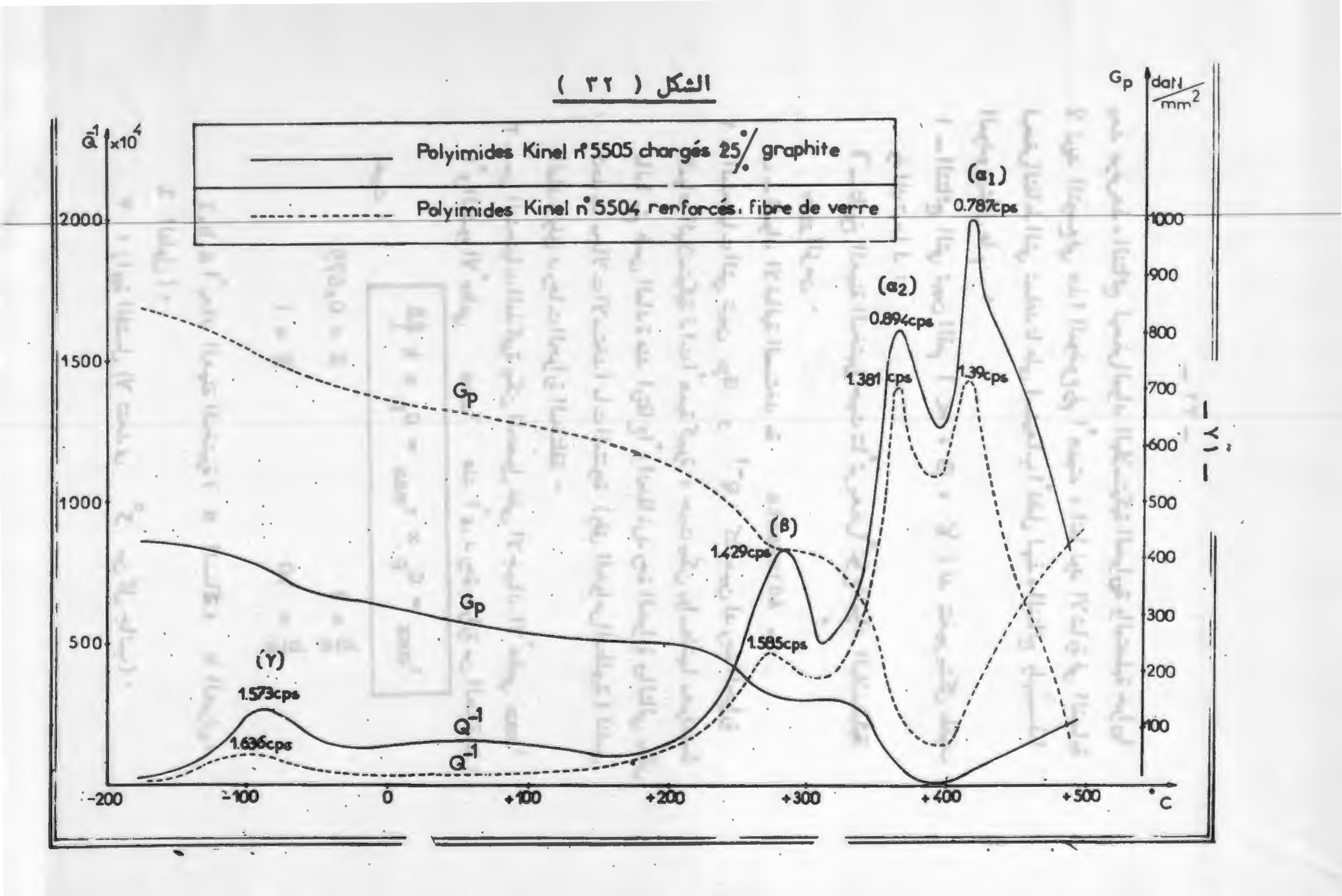
القمة ( $\gamma$ ) عريضة وغير حادة وتنتج عن الحركات الجانبية لقطع السلاسل في المنطقة الغير منتظمة Amorphe .

القمة ( $\beta$ ) ناتجة عن دوران المجموعات الجانبية حول السلسلة الرئيسية .

القمتان $(\alpha_1 , \alpha_2)$ تمثلان التحول الزجاجي لهذه المادة . الفرق بينهما غير معروف ، لكن يعتقد أن السبب هو اعادة توجيه السلاسل الرئيسية وأن الحجم الحر (سنراه بعد قليل) يلعب دورا اساسيا في هذا المجال .

في الشكل يمكن ملاحظة الفرق في السلوك بين مادة البولي ايميد المسلح بالألياف الزجاجية بنسبة 65 % ونفس المادة المسلحة بالغرافيت بنسبة 25 % .

الشكل ( ٣٢ )


Polyimides Kinel n°5505 chargés 25% graphite
Polyimides Kinel n°5504 renforcés, fibre de verre
Q⁻¹ x10⁴
Gp daN/mm²
(a1) 0.787cps
(a2) 0.894cps
1.381 cps
1.39cps
(β) 1.429cps
1.585cps
(γ) 1.573cps
1.636cps
Gp
Q⁻¹
°C
2000
1500
1000
500
-200
-100
0
+100
+200
+300
+400
+500
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100

بعد عرض هذه النتائج لبعض المواد البلاستيكية الحرارية والمتصلبة حراريا لا نريد التوسع في هذا الموضوع رغم أهميته ، انما نود الاشارة في النهاية لبعض النقاط التي تساعدنا على استيعاب أفضل لهذه النتائج ولهــــذا الموضوع بشكل عام :

١ — النتائج التي تبين القمم ( $\alpha$ ، $\beta$ ، $\gamma$ ) قد تتغير بشكل طفيف وذلك تبعا لـ :

أ — تاريخ العينة المختبرة حيث تتأثر بعض أنواع المواد البلاستيكية بمرور الزمن .

ب — المواد الاضافية المستخدمة Adjuvants .

٢ — المنحنيات التي تبين $G_p$ و $Q^{-1}$ كتابعين لدرجة الحرارة للمواد البلاستيكية ذات أهمية كبيرة ، حيث يمكن بواسطتها معرفـــة ماذا يتم ضمن المادة عند ارتفاع أو انخفاض درجة الحرارة وبالتالي يمكن تحديد مجالات الاستخدامات المتنوعة (وفق الخواص المطلوبة ) لنفس المادة وفق درجات الحرارة المختلفة .

٣ — من المنحنيات المذكورة يمكن الحصول على الاجهاد الأعظمي $\tau_{max}$ والتشوه الأعظمي $\gamma_{max}$ عند أى درجة حرارة من العلاقـة :

$$\tau_{max} = G_p \times \gamma_{max} = G_p \times k \frac{\psi a}{l}$$

حيث :

$\frac{b}{a} = 1$ $K = 0{,}675$

$\frac{b}{a} = 10$ $K = 1$

a,b,l أبعاد العينة المختبرة ( a السماكة ، b العرض ، l الطول ) .

$\psi$ : زاوية الفتــل (لا تتعدى $3^{\circ}$ من كل جانب) .

الجدول التالي يعطي قيم الاجهاد الأعظمي والتشوه الأعظمي عند درجات حرارة مختلفة وذلك لبعض المواد البلاستيكية والتي درسنا منحنيات القدرة التخامدية لهـا :

| Matière | Température °C | $G_p$ daN/mm$^2$ | $\gamma_{max}$ x10$^{-4}$ | $\tau_{max}$ x10$^{-4}$ daN/mm$^2$ |
|---|---|---|---|---|
| المادة | درجة الحرارة | معامل الصلابة | التشوه الأعظمي | الاجهاد الأعظمي |
| Polycarbonate | - 150° | 166 | 1.77 | 293.5 |
| | + 20° | 87 | 2.36 | 205.5 |
| | + 170° | 2.5 | 3.86 | 9.65 |
| Polyimide (5504) | - 166° | 840 | 1.164 | 977.5 |
| | + 20° | 682 | 1.206 | 822.4 |
| | + 198° | 571 | 1.379 | 787.6 |
| | + 368° | 120 | 1.749 | 210 |
| | + 490° | 437 | 1.26 | 548.5 |
| Polyamide -11- | - 174° | 201 | 2.902 | 584.5 |
| | + 20° | 50 | 3.585 | 178.2 |
| | + 140° | 7 | 3.879 | 27.15 |
| Epoxy EC 2216 | - 188° | 387 | 2.574 | 996 |
| | + 20° | 66 | 3.553 | 235 |
| | + 147° | 1.5 | 3.925 | 5.9 |

٤ ـ كثافة الارتخاء (التي رأيناها سابقا) $\frac{\Delta G}{2G} = \frac{\Delta \tau}{2\tau}$ يجب أن تساوي الى طاقة التخامد الأعظمية $tg\ \Phi_{max}$ نظريا أي أن $1 \simeq tg\ \Phi_{max} / \frac{G}{2G}$ وهذا غير ممكن عمليا . الجدول رقم ( ٣ ) يبين القيم العملية عند درجات الحرارة للتحولات الرئيسية .

٥ ـ الاحتكاك الداخلي أو قدرة التخامد تكون ضعيفة بدرجات الحرارة المنخفضة ( القمة ٧ )كما لاحظنا بعض النتائج ، لماذا ؟

ان درجات حرارة التحولات من ناحية التركيب الجزيئي توافق حركة قطع السلاسل الجزيئية ومجموعات الذرات الجانبية ، سعة الحركة تعتمد على :

١ ـ القدرة الحرارية Energie thermique

٢ ـ القدرة الكامنة Energie potentielle

٣ ـ الحجم الحر Volume libre (هو الفرق بين الحجم الحقيقي لواحدة الكتلة والحجم الذى تشغله هذه الكمية فيما لو كان البوليمير ذو تركيب جزيئي منتظم تماما ، وهذا الحجم الحر هو الذى يسمح بحركة قطع السلاسل الجزيئية وهو مقياس هام جدا لتركيب المواد البلاستيكية ) .

في درجات الحرارة المنخفضة جدا فان الحجم الحر يصبح صغيرا والقدرة الحرارية ضعيفة بالمقارنة مع القدرة الكامنة ، لذا فحركة مجموع السلاسل الدورانية تتوقف ولا يبقى الا حركات صغيرة اهتزازية لمجموعات الذرات . تدعى هذه بالحالة الزجاجية ودرجة الحرارة الموافقة هي درجة حرارة التحول الزجاجي $T_\psi$ (هي من أكثر الخواص أهمية للبلاستيك الحراري الغير منتظم ) . عند ازدياد درجات الحرارة نحصل على حرية متزايدة لحركة قطع السلاسل فيزداد الاحتكاك الداخلي أو قدرة التخامد ويقل معامل الصلابة $(G_p)$ .

| المـــادة | Pic | Température °C درجة الحرارة | Hauteur du pic $tg\phi_{max}=\Pi Q^{-1}_{max}$ | $\frac{\Delta G}{2G}/tg\phi_{max}$ |
|---|---|---|---|---|
| Polyamide-11- | α | + 46° | 0.374 | 2.623 |
| الشكل ( ) ( ) | β | - 64° | 0.185 | 1.676 |
| | γ | -134° | 0.201 | 1.856 |
| Polypropylène | α | + 85° | 0.284 | - |
| الشكل ( ) | β | + 10° | 0.272 | 2.371 |
| | γ | - | - | - |
| Epoxy EC 2216 | α | + 34° | 0.971 | 4.109 |
| الشكل ( ) | β | - 59° | 0.075 | 1.400 |
| | γ | -132° | 0.113 | 1.974 |
| Polyester | α | + 88° | >1.100 | <3.694 |
| الشكل ( ) | β | - 84° | 0.057 | 1.140 |
| | γ | -156° | 0.053 | 1.792 |
| Polyester F.V | α | +102° | 0.734 | 3.638 |
| الشكل ( ) | β | - | - | - |
| | γ | -110° | 0.039 | 1.333 |
| Polyimide F.V. 5504 | $\alpha_1$ | +416° | 0.447 | - |
| | $\alpha_2$ | +366° | 0.444 | 2.221 |
| الشكل ( ) | β | +274° | 0.147 | 1.333 |
| | γ | -100° | 0.034 | 2.471 |
| Polyimide G. 5505 | $\alpha_1$ | +418° | 0.625 | - |
| | $\alpha_2$ | +364° | 0.503 | 5.008 |
| الشكل ( ) | β | +280° | 0.262 | 0.859 |
| | γ | - 97° | 0.082 | 1.695 |

الجدول رقم ( ٣ )

الفصـــــل الثانــــــــي :

## العوائل البلاستيكيـة ـ المواد البلاستيكية التجارية ـ

## خواصـها العامة وحدود استعمالها صناعيــــــا

وجدنا سابقا أن البوليميريتألف من أعداد معينة من الجزيئات الاحادية البسيطة monomères المتماثلة ، لذا يمكن أخذ هذا المونوميـر كأساس لتمييز العوائل البلاستيكية بشكل محدد ومن ثم تحديد مشتقاتهـا حسب طريقة الحصول عليها ، لأنه بغير ذلك فسنقع حتما في التباس كبيـر بسبب كثرة المواد البلاستيكية تجاريا نظرا لاختلاف طرق وشروط البلمرة من ناحية ، وكذلك التفاوت الكبير في استخدام المواد الاضافية adjuvants من ناحية اخرى .

تقسم العوائل البلاستيكية الى فرعين رئيسيين هما :

أولا : عوائل البلاستيك الحرارى Thermoplastiques وهي كالتالي :

1 - Styréniques .
2 - Vinyliques .
3 - Polyoléfines .
4 - Acryliques .
5 - Polycarbonates .
6 - Polyterephtalates d'éthylène-Glycol
7 - Polyoxydes de phénylène .
8 - Polysulfones .
9 - Polyacétals .

10 - Polyamides .

11 - Fluores .

12 - Autres Thermoplastiques

- مواد اخرى من البلاستيك الحرارى .

13 - Cellulosiques ( T P . Artificiels ).

- بلاستيك حرارى اصطناعي .

ثانيا : عوائل البلاستيك المتصلب حراريا Thermodurcissables

وهي كالآتي :

1 - Phénoplastes , Aminoplastes.

2 - Polyesters insatures .. (غير مشبع)

3 - Epoxydes .

4 - Silicones .

5 - Polyimides .

6 - Autres thermodurcissables .

- مواد اخرى من البلاستيك المتصلب حراريا .

سنقوم بدراسة مختصرة لكل من هذه العوائل مع تبيان وبايجاز طرق التحضير وميزات ومساوىء المادة ومشتقاتها ، ومن ثم سنذكر بعض التطبيقات والاستعمالات لهذه المواد . سنرفق بعض الجداول التي تعطي معظم الخواص الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية للمواد البلاستيكية الأكثر استعمالا وشهرة سواء كانت حرارية أو متصلبة حراريا ، هذه الجداول موجودة في نهاية الكتاب بالاضافة للجدول الذى يبين أسماء ورموز المواد البلاستيكية المتعارف عليها حتى لا نضطر لتكرار كتابة الاسم الكامل للمادة بل نكتفي بالرمز . (ص )

Thermoplastiques

١ ـ الستيرن : Styrènique

ابتدا ء من المونومير Styrène يمكن الحصول على المواد التالية :

Styrène ............ بلمرة ... → ... ... PS

Styrène + butadiène(3-10%) ...... بلمرة → . PSC

Styrène + acrylonitrile(20-30%) .. بلمرة → . SAN

Styrène + butadiène + acrylonitrile

..... .. بلمرة ا و تطعيم → . ABS

ABS = 20% A + 30% B + 50% S

butadiène : هيد روكربون غازى ملتهب يستعمل في المطاط الصناعي •

الجدول رقم ( ٤ ) ـ نهاية الكتاب ـ يعطينا الميزات الا ساسية لبعض مواد هذه العائلة وكذلك المساوئ ، مع بعض الاستعمالات والتطبيقات لهذه المواد •

الجدول رقم ( ٥ ) ـ نهاية الكتاب ـ يعطينا معظم الخواص الفيزيائية والميكانيكية والحرارية لمادة البولي ستيرن - Polystyrène - PS المادة الرئيسية بهذه العائلة •

٢ ـ الفينليك : Vinliques

اولا يمكن تمييز صنفين رئيسيين من ال polyvinyles الصلب واللين :

صلب Chlorure de vinyle...... .. بلمرة → .. PVC rigide

لين PVC + 35-40% plastifiants( ملدن ) → PVC souple

مجموعة المواد التالية تعتبر كذلك من عائلة ال Vinliques :

1 - PVC-C Polyvinyle surchloré.

2 - PVC + ABS .

3 - PVA Acétate de polyvinyle.

4 - PVAL Alcool polyvinylique.

5 - PVD Polyvinlidène.

عملية بلمــرة كلور الفينيل تتم صناعيا بثلاث أشكال :

١ ــ بشكل مستحلب : حبيبات بقياس µ 1-30 تستخدم للالصاق .

٢ــ مزيج جاف على شكل حبيبات بقياس µ 100-300 يستخدم للبثق .

٣ ــ الريزين يحضر بشكل مزيج صاف، امتصاصه للماء قليل ويستخدم لعمليات الصقل والبثق .

عمليا لا يستعمل الـ PVC النقي بل بشكل مزيج مع المواد الاضافيــة على شكل بودرة أو حبيبات .

الجدول رقم ( ٦ ) ــ نهاية الكتاب ــ يعطينا الميزات الأساسية لبعض مواد هذه العائلة وكذلك المساوىء ، مع بعض الاستعمالات والتطبيقات لهذه المواد .

الجدول رقم ( ٧ ) ــ نهاية الكتاب ــ يعطينا معظم الخواص الفيزيائية والميكانيكية والحرارية لمادة بولي كلور فينيل Polychlorure de vinyle ( PVC ) المادة الرئيسية بهذه العائلة .

PVC
$$\left[ - CH_2 - \underset{\substack{| \\ CL}}{CH} - \right]$$

## ٣ – البولي أوليفين :

ابتداء من المونومير éthylène أو propylène . يمكن الحصول على المواد التالية بالبلمرة Polymérisation :

Ethylène
- PEbd ............... منخفض الكثافة ، عالي الضغط — ضغط 1000 $Kg/cm^2$ ، درجة حرارة 150-200° C
- PEmd ............... متوسط الكثافة مزيج — PEbd + PEhd
- PEhd ............... منخفض الضغط ، عالي كثافة — ضغط 40-60 $Kg/cm^2$ ، درجة حرارة 60-120° C

PP ...... Propylène + (catalyseur وسيط) ضغط 40-60$Kg/cm^2$ ، درجة حرارة 60-120° C

وبواسطة البلمرة بالمشاركة copolymérisation يمكن الحصول على المواد التالية :

Ethylène + propylène .................... PPE

Ethylène + acétate de vinyle(20-35%) .... EVA

Méthylpentène .......... بلمرة ...... PMP (TPX)

يصبح البولي ايتيلين PE شبكي الشكل بتأثير فوق الاكسيد ( الحاوى نسبة عالية من الاكسجين ) أو بتأثير الاشعاع المستمر . يمكن كذلك خلق روابط ثلاثية الابعاد ، بهذه الحالة لا تعود المادة بلاستيك حراري بل تصبح أقرب للبلاستيك المتصلب حراريا .

الجدول رقم ( ٨ ) - نهاية الكتاب - يعطينا الميزات الاساسية لبعض مواد هذه العائلة وكذلك المساوىء ، مع بعض الاستعمالات والتطبيقات لهذه المواد .

الجدول رقم ( ٩ ) - نهاية الكتاب - يعطينا معظم الخواص الفيزيائية والميكانيكية والحرارية لمادة البولي ايتيلين Polyéthylène PE الرئيسية بهذه العائلة .

(PE) $-CH_2-CH_2-$ (PP) $-CH_2-\underset{CH_3}{\underset{|}{CH}}-$

**٤ - الأكريليك : Acrylèques**

نميز في هذه العائلة المواد التاليـــة :

١ - : Méthacrylate ... (١) ... polyméthacrylate de méthyle... PMM - يكون بحالة صلبة -

( ١ ) : بلمـرة باستعمال وسيط بدون حرارة .

٢ - : Acrvlate يعطي مادة بلاستيكية بشكل مستحلب (يستعمل للرسم) .

٣ - : Acrylonitrile........ Polyacrylonitrile

وهو اساس لتشكيل الياف نسيجية .

| الميزات | PMM | المساوىء |
|---|---|---|
| شفاف طبيعي اكثر من الزجاج العادى سهل التلوين ، سطح قاسي ، لماع قليل الامتصاص للماء ، سهل التشكيل والتصنيع ، خواصه جيدة لتوصيل الضوء (انارة نقطة بعيدة عن مركـز الضوء باستعمال قضيب منه مثلا ) | | هش ، حساسية للتحزيز (يمكن اعادة صقله ) ، ضعيف الثبات بالحرارة ، قابل للاحتراق ، مقاومة كيميائية ضعيفة ، ضرورة اعادة تسخين الصفائح السميكة لتجنب الشقوق . |

| تطبيقـــــات PMM |
|---|
| صفائح محبوبة : القبب (قبة في بناء) ، نوافذ الطائرة ، علب القفازات (الاستعمالات النووية) ، أحواض الاسماك . |
| صفائح لبثق : تصنع بالتشكيل الحراري : اشارات الطرق الضوئية ، موزع الضوء ، اشارات محطات الخدمة ، الدعايـة . |
| القولبـة : انوار السيارات الخلفية ، لوحات دارات الراديو والتلفزيون ، كلوب ضوئي ، معدات الرسم والقياس ، قرص الهاتف . |
| عدسات آلات التصوير للهواة ، لوحات زجاجية للصالات الرياضية ، . |
| مفروشات (طاولات وكراسي) ، مغاطس ومغاسل ، ديكورات مختلفـة . |

## ٥ ـ البولي كربونات : Polycarbonates (PC)

| الميزات | PC | المساوئ |
|---|---|---|
| خواص ميكانيكية وكهربائية ممتازة ، مقاومة للصدم ، صلب ، قاسي ، ثبات حجمي ، ثبات بالحرارة بالمجال (-100, 130°C) يطفو ذاتيا ، عديم النفوذ لبخار الماء ، لا يتأثر لونه بالسوائل المنزليـــــة (قهوة ، شاي ، عصير ..... ) . | | مقاومة سيئة للبنزين الممتاز ، يتأثر بمحاليل الغسيل ، شفافية ممكنة ، ضرورة تجفيف الحبيبات قبل الاستعمال . |

| التطبيقات PC |
|---|
| أجهزة كهربائية والكترونية ، عاكس للتيار Commutateur اشارات ضوئية ، عدسات ضوء ، حامي شاشة التلفزيون ، مقابض مفاتيح البراغي (شفافة) ، دروع للبوليس ، حواجز شفافة لنوافذ البنوك مقاومة للصدم ، أجهزة ومعدات طبية وجراحية ، الواح زجاج للقطارات ، هياكل آلات للمكاتب (المادة تكون مسلحة) (آلات كاتبة ، آلات تصوير فوتوكوبي ، آلات سحب التيراج ..... ) . |

٦ـ Polytérephtalates d'éthylène Glycol(PTE) :

هذه المادة تدعى كذلك بوليستير مشبع Polyester saturé أو بوليستير حراري Polyester thermoplastique وينتج من عملية الالتحام Polycondensation لـ éthylène-glycol و acide thérephtalique . نحصل كذلك على الـ PTE الذى هو بوليستير خطي Polyester linéaire ، ويجب أن لا نخلط بينه وبين البوليستير الغير مشبع Polyester insaturé ( الذى نحصل عليه من Acide isiphtalique ) والذى هـو بلاستيك متصلب حراريا حيث سنراه فيما بعد .

| الميزات | PTE | المساوئ |
|---|---|---|
| صلب ، مقاوم للتآكل ، خواص ميكانيكية جيدة (معامل المرونة مرتفع) ، ثبات حجمي ، الطي لا يكسره (تسخين وليونة ) ، ثابت الاحتكاك ضعيف، اطفاء ذاتي ، ثبات حراري بمجال كبيـــــر ( $-60^\circ$ ، $+100^\circ C$ ) ، تشوه بطيء حتـــــى $150^\circ C$ | | تميع بالهدروكربون والبنزين ، صعوبة التشكيل الحراري ، استحالة اللحام HF على شريط . |
| التطبيقات PTE | | |
| حتى السنوات الأخيرة ، هذه المادة لم تستعمل الا بشكليـــــن :<br>١ــ خيوط أو ألياف (تركال Tergal ) للملابس والمنسوجات الصناعية .<br>٢ــ أشرطة : أشرطة مغناطيسية ، أشرطة لطبع الماركات على الساخن ، عازل لتخديدات المحرك الكهربائي ، عازل كهربائي بالمكثفات ، تغليف بتخلية الهواء .<br>في الوقت الحاضر بدء باستعمال هذه المادة لصناعة قطع صناعية مثل : | | |

............... يتبع ...............

ـ تابع ـ التطبيقات

قطع للاقفال أو للآلة ، مسننات (بسبب الثبات الحجمي ومعامل المرونة ) ، واقي من الأشعة على الدراجة (قابلية الانعطاف والشفافية ) ، أربطة للتزلج (ثبات بالبرودة ) . وهناك استعمالات كثيرة قيد الاختبار .

## ٧ ـ Polyoxydes de phénylène (PPO) :

Benzène → phénole
Méthone → méthanol  > diméthylphénol... بلمرة → PPO

يمكن الحصول على PPO modifiés المعدل بالمزج الميكانيكي لـ PPO مع الـ PS بنسب متفاوتة ، والناتج يكون أقل كلفة ويتميز بخواص هامة .

| الميزات | PPO | المساوئ |
|---|---|---|
| صلب ، مقاوم للصدمات ، مقاوم للتآكل ، لماع، ثبات حجمي ، امتصاص ضعيف للماء ، خواص كهربائية جيدة ، ثبات حراري ومقاومة ميكانيكية جيدة في مجال حراري واسع، ذاتي الاطفاء ، سهل اللصق والضغط، يمكن استعماله مع المعادن . | | كامد غير شفاف، معامل الاحتكاك عالي من أجل بلاستيك (يعض، يضغط ) ، ثباته سيء للعطريات والبنزين الممتاز ، ضغط ودرجة حرارة الحقن مرتفعة (الزوجة ) ، لحام صعب ( US فقط) . |
| التطبيقات PPO | | |
| من أجل الماء الساخن : أجزاء للمضخات ، عدادات للماء ، قطع آلات الغسيل ، عدادات كهربائية ، قطع للسيارات والطائرات التي يتطلب أن تتحمل حرارة . | | |

.................... يتبع ....................

ـ يتبع ـ

حارف للتلفزيون ، قطع للساعات والآلات الدقيقة .

كون هذه المادة حديثة جدا فمن الصعب التنبؤ بكافة مجالات استخدامها ولكن هناك الكثير من الاختبارات حول امكانية استخدامها بمجالات تتوافق وخواصها .

## ٨ ـ البولي سلفون : Polysulfones(PSU) :

| الميزات | PSU المساوئ |
|---|---|
| مقاومة ممتازة للتشوه البطيء ، ثبات حجمي ممتاز ، ثبات حراري بالمجال (-100 , 150°C) ودرجة حرارة الانحناء مرتفعة ، اطفاء ذاتي ، تراجع ثابت . | ثبات سيء للهدروكربون ، ضرورة التجفيف قبل التصنيع ، تصنيع صعب ، سعر مرتفع . |

| تطبيقات PSU |
|---|
| استعمال هذه المادة حديث جدا ولا يمكن اعطاء كامل الاستعمالات ولكن من هذه الاستعمالات :<br>قطع تكنولوجية للسيارات ، للطائرات ( حوض carter التهوية بالطائرة ) ، عاكس للضوء . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . |

**ملاحظة :**

الجدول رقم ( ٧ ) ـ نهاية الكتاب ـ يعطينا معظم الخواص الفيزيائية والميكانيكية والحرارية لمادة البولي سلفون Polysulfone(PSU) .

## ٩ — بولي أسيتال : Polyacétals (POM)

ابتداء من ال Formaldéhyde النقي جدا ، وبواسطة البلمرة والبلمرة المشتركة يمكن الحصول على ال Polyformaldéhyde . نسمي هذه الريزينات بـ Polyacétal أو Polyoxyméthylène وهو المستعمل ( POM ) .

| المساوئ | POM | الميزات |
|---|---|---|
| كثافة مرتفعة ( 1,4 ) ، كامد (لا يكون شفافا مطلقا ) ، يتأثر بالحموض ومحاليل الغسيل ، قابل للاحتراق ، مقاومة صغيرة للحرارة المستمرة ، درجة حرارة التصنيع قريبة من حرارة التحلل ، تراجع مختلف وأحيانا يلزم اعادة التسخين لتأمين ثبات حجمي جيد . | | سطح صلب وناعم ، صلابة ، مقاوم للتعب ، معامل مرونة مرتفع ، ثبات حجمي ممتاز ، معامل احتكاك ضعيف ، فعل نابض (امكانية دمج مرن ) ، عزل كهربائي ، ثبات (بالكربون ، الشحم ، الصابون ، المذيبات ) . |

| التطبيقات POM |
|---|
| بصورة عامة ، هذه المواد خاصة المسلحة بالزجاج تحل محل خلائط الالمنيوم . قطع ميكانيكية للآلات ، للسيارات (مسننات ، حلقات ، مقابض . . . ) ، الكهرباء ، الالكترون ، الصناعات الغذائية ، البناء ، قطع دمج مرن ، مجموعات تثبيت سريع ، بسبب الثبات الحجمي الممتاز للمادة فهي تستعمل في الساعات والتطبيقات الدقيقة . قطع للعدادات ، عناصر من الآلات الكاتبة ، أقفال . . . . . . . |

POM $- CH_2 - O -$

## ١٠ ـ البوليـا ميد : Polyamide (PA) :

ويحضر بعملية الاضافة Polyaddition ابتداء من amino-acides الذى يعطي PA-6,PA-11,PA-12 أو بواسطة التحام الأجسام ابتداء من diamines و diacides الذى يعطي PA-6/10 , PA-6/6
هذه المنتجات مميزة برقمين يمثلان عدد ذرات الكربون الموجودة في الديامين Diamine أو الدياسيد Diacide ، أو برقم واحد اذا كان المونومير هو Aminoacide .
كذلك يمكن الحصول على مواد اخرى تحوى ماء بنسب مئوية متفاوته :

PA-12,PA-11(2 %),PA-6/10,PA-6/6(9-10 %),PA-6(10-12 %)

| الخواص العــامة | | |
|---|---|---|
| الميزات | PA | المساوئ |
| ثبات عند الصدم والتعب، مقاومة للتآكل، غير حساس للتحزيز، معامل احتكاك ضعيف، مقاومة ميكانيكية وحرارية، اطفاء ذاتي، ثبات جيد للهدروكربون . | | ثبات في الماء لا يمكن اهماله ماعدا ( PA-12، PA-11 )، قابلية نفوذ بخار الماء ، ثبات سيء للحرارة الرطبة ( بخار، ماء غالي )، وفي الجو الجاف (هش) ضرورة التجفيف قبل التصنيع . |
| التطبيقــات PA | | |
| دواليب مسننة ( مساحات زجاج السيارات، العدادات، آلات عرض السينما ، آلات الحلاقة ... ) . مقابض، مراوح ، أقفال سيارات ، عناصر مضخـة البنزين والكاربراتور ، قداحات ، اسطوانات ، صفائح ، قضبان ، خواتـم، أنابيب ، فرشاة الأسنان ، أفلام ، صناعة الساعات . حاليا يستعمل البولياميد المسلح بالزجاج لأجل قطع ثمينة بحيث تحل محل الخلائـط الخفيفـة . | | |

| المادة | خواص نوعية | استعمال نوعي |
|---|---|---|
| PA-6 | امقاوم للصدمات الكبيرة • | |
| XPA-6/6 | ثبات أفضل بالحرارة 100°C بخدمة مستمرة. | ألياف نسيجية ، قطع صناعية للتطبيقات الشائعة (أدوات كهربائية منزلية ) • |
| PA-6/10 | نصف شفاف جيد في السماكة الضعيفة ، ثبات حجمي أفضل • | قطع صناعية ، أفلام • |
| PA-11 | ثبات بالماء منخفض، ثبات حجمي ، سلوك كيميائي جيد • | أقنية هواء مضغوط ،استعمالات غازية ، موصل للبنزين ، أفلام ، قطع صناعية للتطبيقات الصعبة ، بودرة للتلبيس لحماية العناصر المعدنية • |
| PA-12 | خواص مماثلة لـ PA-11 | |

**ملاحظــــة :**

الجدول رقم ( ١٠ ) ـ نهاية الكتاب ـ يعطينا معظم الخواص الفيزيائية والميكانيكية والحرارية لمادة البولياميد Polyamide(PA) •

## ١١ ـ الفلور : Fluores :

تحضير هذه المواد صعب بسبب وجود الفلور، يمكن الحصول بالبلمرة على المواد التاليـة :

Polytétrafluoréthylène .......... TFE
Polytrifluorochloréthylène ..... CFE
Polyéthylène-propylène fluoré .. FEP
Polyvinylidène fluoré .......... PVF

<table dir="rtl">
<tr><th>الميزات</th><th>Fluores</th><th>المساوىء</th></tr>
<tr><td colspan="2">خمول كيميائي قوي جدا ، ثبات حراري بمجال كبير ( -270,+300 °C ) وبشكل مستمر ( -80 , +250 °C ) ، معامل احتكاك ضعيف جدا ( f 0,1 ) ، غير لاصق ، لا ينحك ، لا يمتص الماء ، لا يحترق ، لا يؤذي الجسم البشري .</td><td>كثافة مرتفعة ( 2,2 - 2,1 ) ، يتشوه ببطء ، يتحلل بدرجة حرارة 327 °C ويطلق بخار فلوري ، غالي الثمن كثيرا ، صعب التصنيع ، تراجع مختلف ، صعب اللحام .</td></tr>
<tr><td colspan="3">خـواص خاصـــة</td></tr>
<tr><td colspan="3">CFE : امكانية التصنيع بالطرق العادية ، ثبات أقل بالمذيبات.من<br>FEP : غير قابل للحقن واللحام ، ثبات حراري كبير .<br>PVF : قابل للحام ، مقاوم للتعتق (مرور الزمن) وللتحلل بالماء .</td></tr>
<tr><td colspan="3">التطبيقـات Fluores</td></tr>
<tr><td colspan="3">ضد التآكل : أنابيب وحنفيات لمحاليل تسبب التآكل (صناعات كيميائية) ، للسد باحكام لمناطق التهريب .<br>عزل كهربائي : تغليف الكوابل الكهربائية بالطائرات ، قطع تكنولوجية للمركبات الالكترونية .<br>الانزلاق : تلبيس مقلاة القلي ، قوالب لصانعي الحلويات ، قطع المكاوي ، ناقل للمنتجات الغذائية ، فكي آلة اللحام الحراري .</td></tr>
</table>

## ١٢ – مواد بلاستيك حراري اخرى :

في الصفحة القادمة نبين بعض هذه المواد ضمن جدول يتضمن كذلك طرق التحضير والخواص والاستعمالات لهذه المواد .

| المادة | التحضير | الخواص | الاستعمال |
|---|---|---|---|
| Polybutylène | بلمرة ال butylènes | خواص ميكانيكية جيدة . | أنابيب . |
| Phénoxyde | التحام الاجسام لل Chlorure de diallyle, bisphénol A | شفاف ، عديم النفوذ للبخار الماء والغازات ،مقاوم للتعتيق ، تشقق بتأثير الاجهاد . | أجسام مفرغة ، ورق للتغليف للصيادلة . |
| Polyéther chloré | Polyoxyéthane | مقاومة كيميائية بدرجة حرارة مرتفعة ، سعره مرتفع . | بودرة للتلبيس للحنفيات والمضخات . |
| Parylène | بلمرة بالتبريد بعد تبخير ال P-Xylylène | ثبات بالحرارة المنخفضة والمرتفعة حتى 170°C عازل كهربائي ممتاز، عديم النفوذ للغازات ، سعره مرتفع جدا . | عا بالعزل الكهربائي |
| Polysulfure de phénylène | بلمرة ال Sulfure de phénylène. | ثبات حراري حتى 260°C اطفاء ذاتي ، مقاومة كيميائية . | عناصر للمضخات والمراوح . |

## Thermodurcissables

### ١ ـ الفينوبلاست والا مينوبلاست : Phénoplastes et Aminoplastes

ابتداء من الفورمول وبواسطة التحام الا جسام يمكن الحصول على المواد التاليـــة :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Formol + | Phénol | ------ phénoplastes | PF |
| | Urée | ------ aminoplastes | UF |
| | Mélamine | | MF |

حديثا تم تطوير مادة ميلا مين فينول : Mélamine modifiée (MP) phénol

هذه المواد تستعمل بشكل ريزين سائل أو بودرة للقولبة . الفينوبلاست والامينوبلاست يولدان بخارا ماء عند التشكيل بالقوالب .

بصورة عامة تتصف هذه المواد بالصلابة والمقاومة الحراريـة والثبات الحجمي ، تلون مع الزمن وبالعزل الكهربائي .

تكون بودرة القولبة دائما محملـة بنسب متفاوتة تصل حتى 50 % وذلك وفقا للخواص المطلوبة من القطعـة المنتجـة .

الجدول رقم ( ١١ ) ـ نهاية الكتاب ـ يعطينا الميزات الأساسية لبعض مواد هذه العائلة وكذلك المساوئ ، مع بعض الاستعمالات والتطبيقات لهذه المواد : PF , UF , MF .

الجدول رقم ( ١٢ ) ـ نهاية الكتاب ـ يعطينا معظم الخواص الفيزيائية والميكانيكية والحرارية لمادة الفينوبلاست PF .

الجدول رقم ( ١٣ ) ـ نهاية الكتاب ـ يعطينا كذلك معظم الخواص الفيزيائية والميكانيكية والحرارية لمادة ميلا مين ـ فورميك MF .

## ٢٠ ـ البوليستير الغير مشبع : Polyester insaturé :

ويحضر بطريقة التحام الأجسام :

Polyacide+Polyalcool
(diacide) (polyglycol)

\+ مذيب للشبكات الجزيئية

Résine + { حرارة + محفز للتفاعل / مسرع + محفز للتفاعل } ← Polyester (TD) ثلاثي الأبعاد

في الحقيقة أن أنواع البوليستير الغير مشبع (المتصلب حراريا) كثيرة جدا وتعتمد على النسب المئوية للمونوميرات الدخلة في التركيب والتي تعطي خواص مختلفة ، كما تعتمد على نوعيات وكميات المواد الاضافية المستخدمة وذلل للحصول على خواص معينة .

| الميزات | المساوى |
|---|---|
| ثبات حجمي ، صلابة كبيرة جدا ، تماسك ممتاز مع مواد التسليح الزجاجية ، ممكن أن يكون نصف شفاف ، ثبات كيميائي مقبول ، سهولة تصنيعه ( قولبة بضغط منخفض) . | قابل للاشتعال ، ثبات سيء بالحرارة الرطبة (بخار ، ماء غالي ) ، تراجع مهم ، زمن الحفظ في وعاء محدود . |

**التطبيقات**

بوليستير غير مسلح : كمادة صمغية ، كطلاء ، براق ، للوصل واللصق ، أزرار ، عزل كهربائي ، اكساء وتلبيس .

بوليستير مسلح : (ثلاثة أرباع الاستعمالات) :

للبناء : صفائح للتغطية والحماية (أكثر الاستعمالات التجارية حاليا ) ، قوالب للبيتون ، المسابح .

.............. يتبع ..............

... تتمـــة ...

للبحـــر : المراكب المتوسطة الحجم ، القوارب الرياضية ، قطع ضخمة وكثيرة في كل البواخر ، الجسور العائمة ، قوارب التجديف الشخصية ، عوامات انقاذ الغرقـى .

قطع صناعية : الأحواض ، الصهاريج ، مستودعات بالأرض لطمر الحلال ، المداخن ، هندسة كيميائية ، مستودعات ، للتغطيـــة المختلفة ، بروفيلات ، قبعات للحماية .

الكهرباء والالكترون : للعزل الكهربائي ، للفواصل ، قطع للتحويـــل ، للدارات الأولية ، رادارات ، قطع مختلفـة .

النقل : هياكل السيارات الرياضية ، عناصر مختلفة للباصات وسيارات الشحن الكبيرة (مقصورة) ، عناصر لصهاريج النقل ، الكارافان ، عناصر للقطارات والمترو ، عناصر لصناعة الطائرة ، غرف للهواتف العمومية ، خزانات .... .

المفروشات : مقاعد ، اسرة ، طاولات ، مقاعد للحدائق ، مقاعد للمحطات قطع مختلفة للحمامات .... .

وهناك استعمالات عديدة مختلفة لا حصر لها للدعاية والديكور والتزلـج وللمعارض المختلفـــة .

## ٣ ـ الايبوكسيـــــد : Epoxydes (PE) :

تحضر هذه المواد بطريقة التحام الأجسام للـ Epichlorhydrine والـ Bisphénol A . المواد الناتجة تكون سائلة أو عجينية كما يمكن أن تكون كذلك صلبـة قابلة للانحلال .

الريزين السائل يمكن أن يتصلب باستخدام مادة مصلبة ( بالدرجة الأولـى اضافة منشط لهذه العملية ) .

الجدول رقم ( ١٤ ) ـ نهاية الكتاب ـ يعطينا معظم الخواص الفيزيائية والميكانيكية والحرارية لمادة الايبوكسيد Epoxydes(EP) .

| المساوىء | Epoxydes | الميزات |
|---|---|---|
| أضعف ثباتا من البوليستير الغير مشبع في الحالتين : ـ انحطاط السطح بدون تغير بالخواص الأصلية . ـ زمن البلمرة أكثر طولا . | | خواص ميكانيكية وحرارية وكهربائية وكيميائية أفضل من البوليستير الغير مشبع ، ثبات بالأبعاد ، مقاوم للتآكل ، اطفاء ذاتي ، ثبات جيد بالحرارة ، لاصق جيد على المواد الاخرى ، تراجع ضعيف عند القولبة . |
| التطبيقـــات | | |
| ريزين مسلح بالألياف الزجاجية : أدوات رياضية مختلفة ، معدات مختلفة بمجال الطيران ، عازل للطبقات . ريزين محمل (بودرة معدنية ، تالك) : قوالب للتشكيل الحراري للبلاستيك ، معدات للطرق (مسلحة) ، نموذج صفائح للسباكة ، علبة نواة ، قوالب السفن ، تماثيل للعرض (مانيكان) ، نموذج للفارزة للانتاج المتكرر . ريزين مصبوب : عزل العناصر الكهربائية بالصب ، تلبيس الأرض والطرق . اللصـــق : لصق المعادن مع بعضها ، لصق البيتون أو المعدن على البيتون ، اصلاح وتزيين الشقوق . بودرة للقولبة : لاجل قطع تكنولوجية عازلة . بودرة لأجل المعالجات السطحية : تغليف واكساء المعادن . للرسم والتصميـــغ . | | |

## ٤ ـ السيليكون : Silicones :

تحضر هذه المواد ابتداء من الـ ( chlorosilanes ) الذي يعطي بالتحلل بالماء الـ ( silanols ) ثم بطريقة التحام الأجسام مع استبعاد (طرح) الماء نحصل على السيليكون .

| المساوئ | Silicones | الميزات |
|---|---|---|
| سعره مرتفع ، قابلية نفوذ كبيرة للغازات ( هذا يمكن أن يكون من الميزات كذلك ) . | | لين ومرن ، ثبات حراري بمجال كبير (-50 , +250 C)، ويحافظ على خواصه في هذا المجال ، ثبات جيد للرطوبة والبخار، اجهادات سطحية ضعيفة ، عمليا غير قابل للاحتراق ، عازل كهربائي ، مقاوم للاشعاعات |
| التطبيقـــات | | |
| تغطية وتلبيس الدارات الالكترونية لحمايتها من الرطوبة ، الاهتزازات ومن الصدمات . عازل للطبقات ( في مجال الالكترونيات والطيران ) . وصلات لمنع التسرب . قوالب لينة تظهر بدقة كل التفاصيل الدقيقة جدا وتسهل انتاج قطع لها ميلان عكسي . | | |

## ٥ ـ البولي ايميد : Polyimides (PI) :

يحضر بطريقة التحام الأجسام لـ diamine aromatique و dianhydride pytomellitique .

كما يحضر بالبلمرة لـ Imides éthyléniques ( aminobismaléimide ).

| المساوئ | PI | الميزات |
|---|---|---|
| يتأثر بوجود بخار الماء مع مرور الزمن ، صعب التصنيع، سعره مرتفع جدا ، تفكك الروابط الجزيئية عند 350° C . | | ثبات ميكانيكي وكيميائي ، مقاوم للتعب، لا يتشوه ببطء ، عازل كهربائي ، معامل الاحتكاك جيد 0,20 f 0,15 ، مقاوم للأكسدة ، اطفاء ذاتي ، ثبات حراري ممتاز بمجال كبير (-200 , +300° C). |

| التطبيقـــــــات PI |
| --- |
| البولي ايميد يمكن أن يكون بعدة أشكال : ريزين للرسم والالصاق • اشرطة ورقائق للعزل أو ثبات بالحرارة ، عزل لحزوز المحرك ، عزل الكوابل الكهربائية ، دارات أولية لينـة •••• بودرة للقولبة : يمكن تصنيعه بالضغط • تم انتاج قطع تكنولوجيـة مختلفة بمجال الطيران ، المجال النووي ، في الكومبيوتر ••••• مسننات ، مكابس ، وصلات ، رصاص بلاستيكي ، قطع للضواغط وكذلك للمراوح •••••• الخ • |

IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
IIIIIIIIIIIIIII
IIIIIIII
II

## البحـــث الثالـــث

### الفصـــل الأول :

### الطـــرق الرئيسية لتصنيـــع البلاستيك

هناك العديد من الطرق المستخدمة لتصنيع المواد البلاستيكية وتحويلها من نصف منتج demi-produit ( البودرة ، الحبيبات ....) الـى منتج نهائي جاهز للاستعمال والاستهلاك . التقنيات المستخدمة بالتصنيع تختلف بشكل واضح حسب نوع المادة البلاستيكية ، وهنا يمكن تمييز حالتين :

١ ـ تصنيع مواد البلاستيك الحرارى Thermoplastiques .

٢ ـ تصنيع مواد البلاستيك المتصلب حراريا Thermodurcissables .

**أولا : الطرق الأساسية المستخدمة لتصنيع البلاستيك الحرارى TP :**

الجدول رقم ( ١٥ ) في الصفحة القادمة ـ يبين هذه الطرق الأساسية مع بعض الخواص والمعطيات لكل منها .

هناك تقنيات أقل استعمالا لاعداد منتجات من البلاستيك الحرارى منها :

ـ الصب ابتداء من ريزين سائل يسمح بتشكيل مخططات ، خرائط أو تصاميم ، أغطية وأغلفة وللاكسا . .

ـ الحقن والنفخ مجتمعين ليسمحان بانتاج أجسام مجوفة بخواص جيدة ولكن باستطاعة ضعيفة جدا .

ـ الترسيب (الادخال ) الذى يرافق البثق والضغط ليعطي منتجات بأشكال بسيطـــة .

هذه الطرق غير مكلفة كثيرا انما تحتاج لدقة وخبرة جيدة عند التطبيق .

الجـــدول ( ١٥ )

| TP | العملية | المنتج الأولي | المنتج المشتق | السماكة mm | الأبعاد | شكل دورة الانتاج: متقطع | شكل دورة الانتاج: مستمر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| التقنية الأساسية | الحقن | حبيبات | جميع الأشكال | 0,5-5 | حتى ١٥ كغ | × | |
| | البثق | حبيبات | جميع اشكال البروفيل | 0,03-5 | عرض حتى ٢,٥ م | | × |
| | النفخ | = | اجسام مجوفة | 0,5-5 | = ٢٠٠ لتر | × | |
| | الدوران | بودرة ناعمة جدا | = | 0,4-10 | = ٣٠٠٠ لتر | × | |
| | الصقل | ريزين +اضافات vinylique | منتجات مسطحة | 0,05-0,15 | عرض حتى ٢,٥ م | | × |
| البداية : نصف منتج التقنية المساعدة | تشكيل حراري | ورق ، صفائح | أشكال للتغليف | 0,1-6 | دون ٢٠ كغ | × | |
| | الطلاء ، التلبيس | عجينة PVC أو PU | غطاء بلاستيكي على نسيج | — | | | × |
| | التلدين | بودرة ناعمة 0,05-0,2mm | أغطية بلاستيكية على اساس معدني | | وسطي 0,3 mm | × | |

## ثانيا : الطرق الأساسية المستخدمة لتصنيع البلاستيك المتصلب حراريا TD :

الجدول رقم ( ١٦ ) في الصفحة القادمة — يبين هذه الطرق الأساسية مع بعض الخواص والمعطيات لكل منهـــا •

هناك كذلك طرق أقل انتشارا لتصنيع البلاستيك المقوى خصوصا الطريقـــة التي تعتمد على القوة الطاردة المركزية Centrifugation وطريقـــة التوشيح Rubanage التي تسمح بالحصول على أجسام دائرية حيث هذه الطريقة تسمح بتخليف الأنابيب المصنوعة من البلاستيك الحرارى •

نجد من خلال المجموعتين TP و TD أن هناك تقنيات تسمح بالوصول الى نتائج متماثلة بالنسبة للمنتج ، كما نلاحظ التطابق التالي :

| TP | TD |
|---|---|
| الحقـــــن | ضغط ، تحـــويل |
| البثـــــق | تنضيد مستمـــــر |
| نفخ ، دوران | لف خيطـــــــي |
| الصقـــــل | ضغط بين الصفائـــح |
| التشكيل الحرارى | انضغاط (تعشيق ) |

يمكن كذلك ايجاد منتجات نخروبية (ذات خلايا ) بطرق التمدد أو الرغوة • في الحقيقة أن هناك عمليات لا حصر لها مشتقة من العمليات الأساسيـــة التي ذكرناها وذلك حسب الحاجة وحسب المنتج المطلوب •

سنقوم بدراسة عدد من عمليات تصنيع البلاستيك الحرارى والبلاستيك المتصلب حراريا مع تبيان مبدأ كل منها ، ميزاتها ، مساوئها وبعض التطبيقات العمليـــــة •

الجـــــدول ( ١٦ )

| TD | العملية | المنتج الأولي | المنتج المشتق | السماكة mm | الأبعـــاد | انتاج الدورة |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ضغط اكبر من ١٠٠ كغ/سم٢ فينوبلاست + امينوبلاست | ضغط | بودرة | جميع الأشكال | 1-5 | بضع غرامات حتى ١ كغ | متقطع |
| | تحويل | = | = | 0,7-1,2 | حتى نصف كغ | = |
| | ضغط بين صفائح | ورق أو نسيج | منتوجات مسطحة | 1-10 | | = |
| ضغط اكبر من الصفر واصغر من ١٠٠ كغ/سم٢ ، بولي ستير + ايبوكسيد ، | ملامسة | ريزين + شعيرات زجاج نسيج زجاجي | مركب ذاتي القوة | 1-5 | حتى ١٠٠ كغ | متقطع |
| | قذف | ريزين + خيوط زجاجية | — | — | — | = |
| | عصر (ضغط) | = | اشكال مطروقة | 1-10 | حتى ١٠ كغ واكثر | = |
| | تنضيد | ريزين مع زجاج باشكال مختلفة | اشكال بروفيلية | | | = |
| | تقطيع | = | = | 1,2-1,4 | عرض اصغر من متر | مستمر |
| | لف | = | اشكال دورانية | | | متقطع |
| | خيطي | = | = | | | = |

١ ـ تصنيع البلاستيك الحراري بالحقـــن : Injection

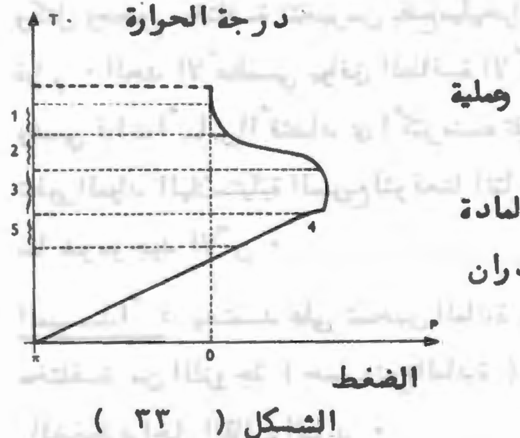
الحقـن طريقة للتشكيل بالقالب تسمح بأنتاج منتجات بكميات كبيرة وبكتل وحجوم مختلفـة تتغير من بضع ميليغرا مات الى حدود. ٣٠/ كيلو غرام . الحد الأعظمـي يوافق الطاقـة الأعظمية لآلات الأنتاج الحالية وهـي ذات أساس اقتصادى أكثر منـه تقني . ولو أخذنا بعين الأعتبار تطور المواد البلاستيكية السريع لتوقعنا انتاج آلات ذات طاقة أكبر بكثير مما هو موجود الآن .

المبـــدأ : يعتمـد على تسخين المادة بشكل يحولها الى مائـع بدرجات مختلفـة من اللزوجة ( حسب نوع المادة ) واجبارها على الجريان تحـت الضغط داخل القالب البارد .

شـروط الحقـن : درجة حرارة المادة المحقـونة من أجل البلاستيك ذو التركيب الغير منتظـم ( Amorphe ) تقع ضمن المجال الرابع والخامس من مخطط Tobolsky , ( log $G_R$(10)-T ) الذى درسناه في البحث الثاني ( الصفحة ٤٤ ) الشكل ( ١٦ ) . القطعة لا تخرج من القالب الا عند ما تكون درجة حرارتها أخفض من $T_V$ . مـن أجل البلاستيك ( البوليميـر المنتظم Cristalline ) فدرجـة حرارة الحقـن تكون دائمـا أعلـى من درجة حرارة الانصهار $T_\theta$ للبوليمير. أطراف القطعـة المنتجـة تختلف قليلا عن طبعات القالب بالرغم من درجة حرارة الحقـن المرتفعة نسبيا وبالرغم من معامل التمدد الحجمـي الكبيـر لمواد البلاستيك الحرارى ( TP ) خصوصا ذو التركيب المنتظم . تفسير هذا ، ان المادة المحقونة تبرد تحت ضغط مرتفع ، التبريد يؤدى الى هبوط الضغط الداخلـي قبل أن تتمكن المادة من التقلص .

لو وضعنا مقياس ضغط داخل القالب فانه من الممكن رسم مخطط ـ درجة الحرارة

الشكل ( ٣٣ ) ـ درجة الحرارة تحدد بالحساب وبالأخذ بعين الاعتبار التبادل الحرارى الحاصل بين المادة وجدران القالب ـ على هذا المخطط يمكن تحديد عدد من المراحل :



الشكل ( ٣٣ )

١ـ ملء القالب .

٢ـ المادة تبرد والضغط يزداد وعملية ملء القالب مستمرة .

٣ـ مقطع قناة التغذية يمتلىء بالمادة التي تتصلب على طول الجدران وفتحة الاتصال لا تسمح بتأمين كمية كافية من الماء للمحافظة على الضغط .

٤ـ التصلب لمحتويات فتحة التغذية .

٥ـ تبريد محتويات القالب بشكل منفصل عن التغذية .

في المرحلة الأخيرة ، حجم معين من المادة ينحصر داخل حجم محدود وتغير الضغط ـ درجة الحرارة يتم لكتلة حجمية ثابتة . هذا التغير خطي وللبلاستيك الغير منتظم التركيب ( Amorphe ) يمكن تطبيق العلاقة :

$$(P + \pi)(V - W) = RT$$

حيث : P : الضغط .

V : الكتلة الحجمية .

T : درجة الحرارة الوسطى .

R, π, W : ثوابت تتعلق بالمادة البلاستيكية .

من أجل ضغط أكثر ارتفاعا في النقطة ( 4 ) الكتلة الحجمية يجب أن تكون اكبر . في الحقيقة ، العامل هو المتحكم بالكتلة الحجمية للمادة خلال

الحقـن بسبب قابلية المادة البلاستيكية المصهورة للانضغاط ٠

من ميزات عملية الحقن :

١ ــ امكانية الانتاج بأعداد وأوزان كبيرة ٠

٢ ــ التجانس والدقة للمنتجات ٠

من مساوئ عملية الحقن : ارتفاع كلفة الآلات والقوالب ، وهذا يحتم أن يكون الانتاج بأعداد كبيرة لا تقل عن ١٠٠٠٠ قطعة (الا في الحالات الاستثنائية ) ، ويمكن أن تصل الكمية الى مئات الالوف ٠

<u>مواد البلاستيك الحراري المحقونة :</u>

كل مواد البلاستيك الحراري يمكن أن تحقن بسهولة متفاوتة بين المادة والأخرى باستثنا ٠ ال PTFE ٠ شروط الحقن الأساسية هـي : درجة حرارة الحقن ، ضغط الحقن ، درجة حرارة القالب ، زمن دورة الحقن ٠٠٠٠٠ ، هذه الشروط هي التي تحدد مدى صعوبة أو سهولة الحقن للمواد المختلفة ٠

| | |
|---|---|
| المواد المستعملة | ــ عمليا كل مواد البلاستيك الحراري (TP)<br>ــ بكميات كبيرة PS , ABS, PEhd, PP<br>ــ بكميات قليلة PVC الصلب (صعب الحقن ) |
| الطاقة الانتاجية | بضع غرامات وحتى ٥ كغ ، بعد ذلك يعتبر حالات استثنائية قد تفوق ٣٠ كغ ٠<br>السماكة ٤ر٠ ــ ٥ مم ، وأكثر ٠ |
| الكمية الانتاجية (قوالب وحيدة الطبعة ) | ٣ ــ ٤ دورة انتاجية بالدقيقة للقطع الصغيرة ٠<br>PS: ١٠٠ غ : ٢٠٠ ــ ٤٠٠ قطعة /ساعة<br>٢٠٠ غ: ١٢٠ ــ ٢٤٠ =<br>PEhd: ٣٠٠ غ: ١٥٠ ــ ٢٠٠ =<br>PP: ٢٠٠٠ غ: ٦٠ = |

## دورة الحقـــن :

الحقن مخصص لانتاج كميات كبيرة بشكل غير مستمر ، مراحل دورة الحقن هـي :

١ ــ اغلاق القالب ·
٢ ــ عمليـة الحقـن ·
٣ ــ التبريد ·
٤ ــ فتـح القالب ·
٥ ــ اخراج القطعة المنتجـة ·

اذا كانت سماكة القطعة كبيرة فمرحلة التبريد تأخذ الزمن الأكبر مـن الدورة ، زمن التبريد يتناسب مع مربع السماكة (البلاستيك السيء النقـل للحرارة ) ، لذا فعملية الحقن مخصصة للسماكات القليلة ( ٣ ــ ٥ مـم ) وهناك حالات استثنائيـة ·

مثال : قطعة منتجة من ال PP :

| السماكـــة mm | كمية الانتاج :قطعة/ساعة |
|---|---|
| 1,5 | 200 |
| 2,5 | 100 |
| 7,5 | 20 |
| 25 | 3 |

غالبا زمن التبريد يساوى نصف زمن الدورة الكامل ·

مثال : قطعة منتجـة من ال PS ( ١٠٠ غرام ) :

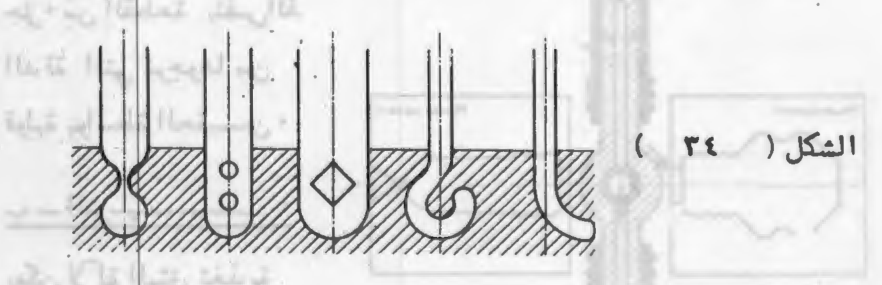
زمن الدورة يوزع على النحو الآتي :
٢ ثانية للاغلاق ·
٢ ثانية لعملية الحقن ·
٦ ثانية للتبريد ·
٢ ثانية لفتح القالب

اذا كانت الدقة الكبيرة بأبعاد القطعة ليست مطلب أساسي فيمكن خفض زمن التبريد وذلك باستخدام طريقة التبريد بالماء (هذا غير صالح لانتاج القطع الصناعية ).

<u>منتجات وامكانيات الحقن :</u>

١ـ الأبعاد : يستخدم الحقن لانتاج قطع صغيرة (قطع الساعات ) وقطع كبيرة مختلفة يصل وزنها الى ٣٣ كغ واكثر . من الصعب جدا انتاج قطع سماكتها أقل من 0,4 mm بالحقن لأنها غير مضمونة أو مرغوبة اقتصاديا .

٢ـ القطع المحبوسة : Prisonniers : يمكن وضع داخل القالب قطع معدنية ، خشبية أو من السيراميك ..... ، بشكل دوائر ، نسيج مضلع أو ركائز ..... حسب الشكل المطلوب ، الشكل ( ٣٤ ) .



الشكل ( ٣٤ )

٣ ـ القولبة الثانية : مثلا العملية السابقة يمكن أن تتم بوضع قطعة من البلاستيك غير كاملة داخل القالب وحقن نفس المادة البلاستيكية فوقها ولكن بلون آخر . هذه التقنية تستخدم غالبا لانتاج قطع مزدوجة اللون ( مثلا : أزرار الآلة الكاتبة ) .

<u>٤ ـ تقنيات مشتقة من عملية الحقن :</u>

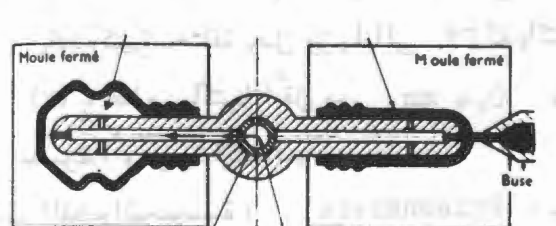
آ ـ الحقـــن والنفـخ : Injection-Soufflage

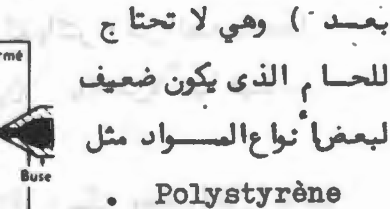
من أجل انتاج أجسام مفرغة يمكن القيام بحقن نموذج القطعة الأولي ، ومن ثم يحول هذا النموذج داخل قالب ثاني لينفخ بالهواء المضغوط ليعطي الشكل النهائي للقطعة المنتجة الشكل ( ٣٥ ) .

هذه التقنية لها فائدة أكبر بالنسبة البثق ـ النفخ (التي سنراها فيما بعـد ) وهي لا تحتاج للحـام الذى يكون ضعيف لبعض أنواع المـــواد مثل

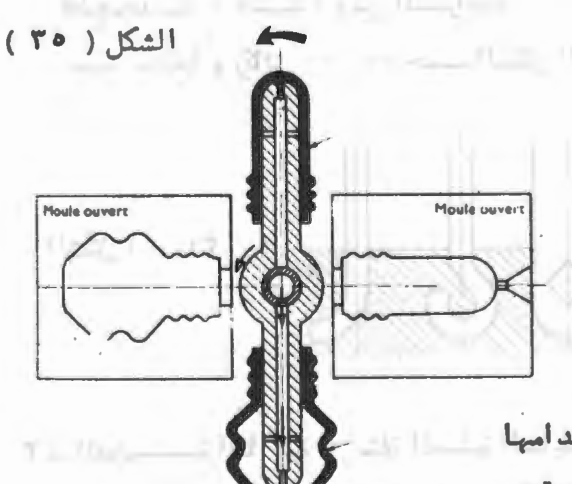
. Polystyrène

من جهة اخرى ، هذه التقنية تسمح بتحديد دقة جزء من القطعة بنفس الدقة التي نرجوها من قولبة بواسطة الحقـــن .




الشكل ( ٣٥ )



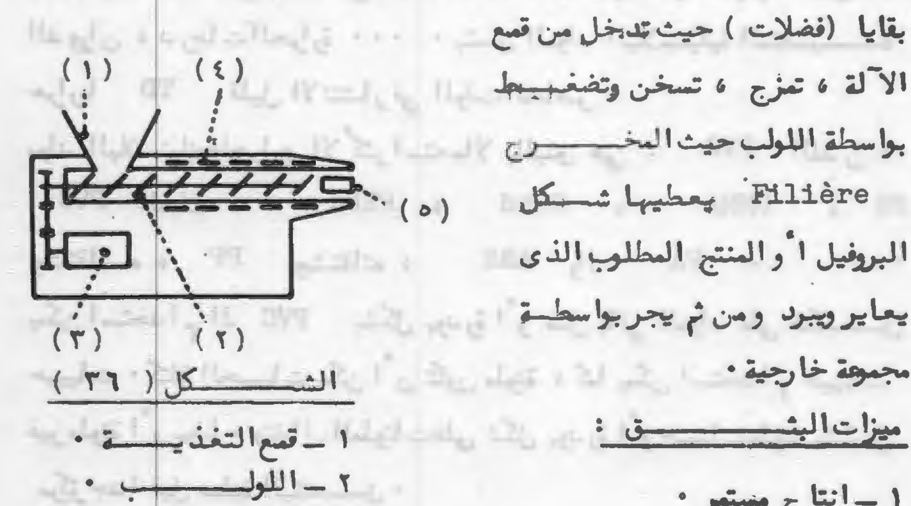

ب ـ الترسيـــب :

يمكن لآلة البثق تغذية مجموعة الحقن ، ويمكن استخدامها مباشرة لملء القالب . يمكن تحقيق ذلك مـع الـ PVC الملدن ، المواد الاخرى تتطلب تسخين القالب حيث درجة الحرارة تكون قريبة من حرارة المنتج المحقون . هذه الطريقـة من أجل القطع القليلة العدد والقطع ذات الكتل الكبيرة ( حتى 200 mm من السماكة ) .

## ٢ ـ تصنيع البلاستيك الحرارى بالبثق : Extrusion

تستخدم عملية البثق الهامة لتصنيع البلاستيك الحرارى وانتاجها بشكل % 40 من وزن منتجات ال TP المصنعة بكافة الطرق . هذه العملية تؤدى لانتاج مستمر من البروفيلات اللينة والصلبة ومن الخيوط والاشرطة والكابلات والانابيب . الآلة المستخدمة لهذا الغرض تدعى Extrudeuse أو Boudineuse . نفس الآلة مع بعض المعدات الخاصة تستخدم لانتاج الاجسام المفرغة بالبثق ـ النفخ سوية .

**المبدأ :** يعتمد مبدأ العملية على استخدام آلة تحتوى على لولب (أو عدة لوالب Archimède ) يدور داخل الغلاف (الاسطوانة) المسخن ويدفع أمامه بصورة مستمرة المادة اللينة (التليين يتم بتأثير الحرارة) الشكل ( ٣٦ ) . مادة البلاستيك الحرارى تكون على شكل حبيبات أو بودرة أو بقايا (فضلات) حيث تدخل من قمع الآلة ، تمزج ، تسخن وتضغط بواسطة اللولب حيث المخرج Filière يعطيها شكل البروفيل أو المنتج المطلوب الذى يعاير ويبرد ومن ثم يجر بواسطة مجموعة خارجية .




الشكل ( ٣٦ )

١ ـ قمع التغذية .
٢ ـ اللولب .
٣ ـ المحرك .
٤ ـ مقاومات للتسخين .
٥ ـ المخرج .

**ميزات البثق :**

١ ـ انتاج مستمر .
٢ ـ معدات نسبيا قليلة الكلفة للبروفيلات الصغيرة .
٣ ـ انتاج برفيلات مختلفة الليونة .

**مساوئ البثـــــق :**

١ ـ ضرورة استخدام لولب مختلف لكل مادة مبثوقـــة .

٢ ـ ضرورة تجهيزات اضافية للمخرج filière لا يمكن اهمالها .

٣ ـ ضبط وموازنة آلة البثق يتطلب ٢ ـ ٨ ساعة ، لذا فالحد الأدنـــى للانتاج كبير ( انتاج مستمر لعدة أيام على الأقل أي عدة كيلومترات من المنتـــج ) .

**المواد البلاستيكية المبثوقة :**

كل مواد البلاستيك الحراري TP قابلة للبثق بسهولة متفاوتة ، فمثلا بعض المواد مثل الـ PTFE تتطلب ظروف عملية خاصة ومعدات ملائمة ( آلة البثق بمكبس هي الأكثر استخداما في هذه الحالة ) ، للمواد الأخرى هناك عوامل متعددة تتغير تبعا لنوع المادة البلاستيكية مثل شكل اللولب ، سرعـــة الدوران ، درجات الحرارة ... . بثـق المواد البلاستيكية المتصلبـــة حراريا TD قليل الانتشار في الوقت الحاضر .

مواد البلاستيك الحراري الأكثر استعمالا بالبثق هي : PVC اللدن ، PVC الصلب ، PEbd ، PEhd ، PMMA ، PS ومشتقاتـه ، PP ومشتقاته ، ABS والـ PA .

يمكن استخدام الـ PVC بشكل بودرة أو مثل باقي المواد على شكـــل حبيبات . كتلة الحبيبات يمكن أن تكون ملونة ، كما يمكن استخدام حبيبات غير ملونة أو بيضاء وتضاف الملونات على شكل بودرة أو حبيبات ملونة بشكـل مركز جدا قبل عملية البثـــق .

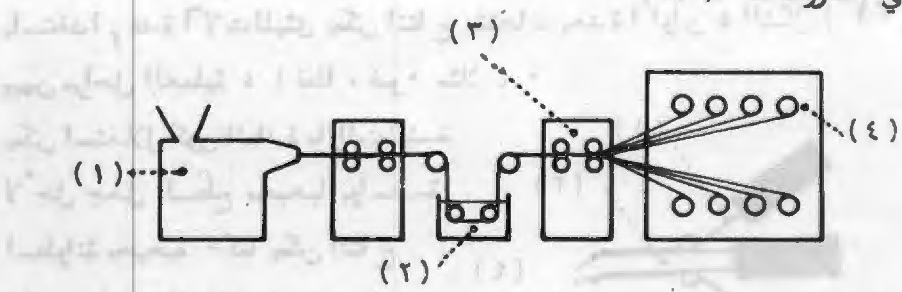
فيما يلي سنتعرف باختصار لبعض منتجات عملية البثق الشائعة الاستعمال :

<u>الخيوط البلاستيكية : fils</u> $d \leq 0,1mm$ (القطر) •

يكون المخرج بهذه الحالة متعدد الثقوب ( ٥٠ ـ ١٠٠ ثقب ) ، الناتج يمر عبر حوض للتبريد ومن ثم على مجموعة السحب • اختلاف بين بكرات السحب مرتبط بدرجة حرارة حوض التبريد وهذا يحدد تمدد الخيط وفق خواصه الميكانيكية ، الشكل ( ٣٧ ) •

مثلا : عند تصنيع ال PA والPolyester acrylique سرعة اللف تكون ، بحدود ١٠٠ ـ ١٥٠ م /دقيقة •

تستخدم هذه الخيطان في صنع الملابس 60 % وفي الصناعة 30 % وفي المفروشات 10 % •



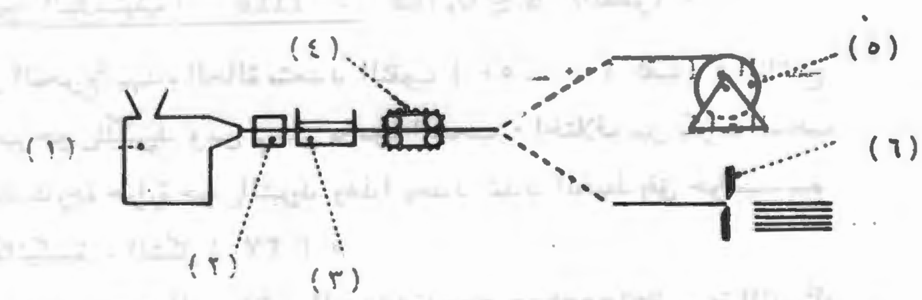

<u>الشكل ( ٣٧ )</u> : (١) : آلة البثق • (٢) : معالجة حرارية ، (٣) : مجموعات السحب • (٤) : مجموعات اللف •

<u>البرفيلات : Profils :</u>

تكون المخارج المستعملة لانتاج البروفيلات الصغيرة غير غالية التكاليف وتستطيع انتاج برفيلات معقدة جدا • ترتيب المجموعة الانتاجية يختلف حسب طبيعة المادة المنتجة ، الشكل ( ٣٨ ) :

في حالة المادة الصلبة : آلة البثق ، مجموعة المعايرة ، مجموعة التبريد ، مجموعة السحب ، مجموعة التقطيع •

في حالة المادة اللينة : آلة البثق ، مجموعة تبريد ، مجموعات السحب ثم اللف•




الشكل ( ٣٨ ) : ( ١ ) : آلة البثق • ( ٢ ) : محايرة • ( ٣ ) : التبريد •
( ٤ ) : السحب • ( ٥ ) : مجموعة اللف للمواد الطرية •
( ٦ ) : مجموعة التقطيع للمواد المنتجة الصلبة •

باستخدام عدة آلات للبثق يمكن انتاج منتجات بعدة ألوان ، الشكل ( ٣٩ ) يبين مراحل العملية ، (غطاء ، ضوء مثلا ) •

يمكن استغلال كون المادة مازالت لينة لأجل جعل السطح محببا بواسطة اسطوانة محببة • كما يمكن انتاج انابيب باستعمال اللف لبروفيل مبثوق ومن ثم لحامه ، يمكن انتاج انابيب ذات أقطار ٢ – ٣ متر • كذلك يمكن انتاج أنابيب بأقطار صغيرة ذات مقابض •

الشكل ( ٣٩ )

( ١ ) و ( ٢ ) : بروفيلات شاقولية أو مائلة • ( ٣ ) : بروفيل أفقي (شفاف) •
( ٤ ) : لحام للبروفيلات الثلاثة •

بروفيل ذو خلايا : Profil cellulaire :

ينتج حاليا برفيلات ذات خلايا ، ومبدأ العملية هو التالي : ادخال مركب يسبب الانتفاخ داخل المادة البلاستيكية قبل خروجها من المخرج filière فيبدأ تمدد ذاتي حيث يتم التحكم به عند الخروج بواسطة مقياس ملائم

يحدد التمدد ، الشكل ( ٤٠ ) ٠

نحصل على منتج ذو خلايا كثافتـه

( 0,4 - 0,5 Kg / $dm^3$ )

ويستخدم في الأبنية والمفروشات بصورة خاصة ( يحل بسهولة محل الخشب ، ويمكن مسمرته واستعمال البراغي به ) ،



الشكل ( ٤٠ )

( ١ ) : مركب يسبب الانتفاخ ٠ ( ٢ ) : منطقة الضغط ٠ ( ٣ ) : منطقـة التمدد ، معايرة ، تبريـد ٠ ( ٤ ) : مجموعة السحب ٠ ( ٥ ) : طبقـة أو جدار صلب ٠ ( ٦ ) : النواة ذات الخلايا ٠

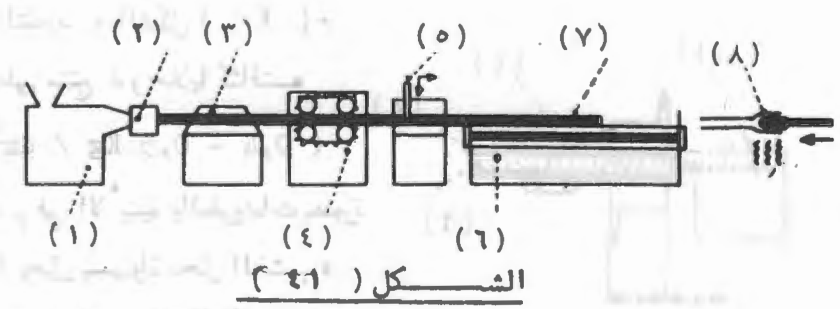
الأنابيـــب : Tubes :

يجب التمييز بين انتاج الأنابيب الطريـة والأنابيب الصلبـة :

١ ـ الأنابيب الطـرية : وتصنع بصورة عامة من الـ PVC اللدن أو من الـ PEbd وأحيانا من الـ PA-11 بطريقة مماثلة لانتـاج البروفيلات الطريـة الشكل ( ٣٨ ) ٠ هذه الأنابيب لا تصنع إلا بأقطار صغيرة (أقل من ٣٠ مـم ) ، العملية لا تحتاج الى احتياطات خاصة ٠ سرعة الانتاج تكون بحدود ١٠ ـ ٢٠ متر/دقيقة ٠

٢ ـ الأنابيب الصلبـــة : الشكل ( ٤١ ) يمثل مراحل عملية التصنيـــع ٠

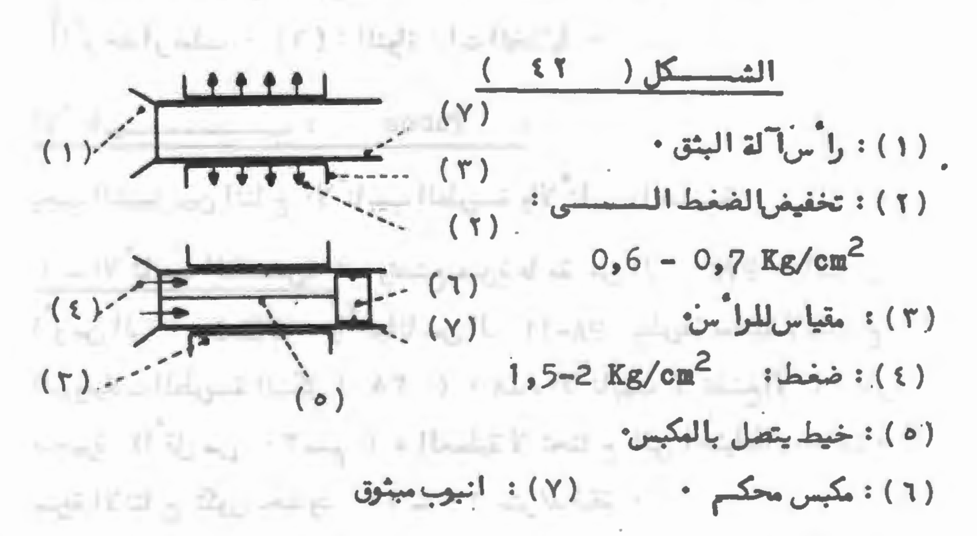
تصنع بصورة عامة من الـ PVC الصلب أو من الـ PEhd حيث يصنـع حاليا أنابيب بأقطار حتى / ٦٠٠ مـم / وحتى / ١٢٠٠ مـم / حديثا ٠ غالبا يجب استعمال مقياس خارجي ، مجموعة بنية داخلية الشكل ( ٤٢ ) ٠ بالاضافة لذلك ولأجل أقطار مماثلة ، فان مجموعة السحب تصبح عنصرها م




الشـــــكل ( ٤١ )

( ١ ) : آلة بثق • ( ٢ ) : مخرج ومجموعة معايرة • ( ٣ ) : تبريـــد • ( ٤ ) : مجموعة السحب• ( ٥ ) : منشار متتبع• ( ٦ ) : طاولة قياس وتكديس • ( ٧ ) : الأنابيب المبثوقــة• ( ٨ ) : للوصل على الساخن (عند الاقتضا •) •

الشـــــكل ( ٤٢ )




( ١ ) : رأس آلة البثق •

( ٢ ) : تخفيض الضغط الـــســـنى :

$0,6 - 0,7\ Kg/cm^2$

( ٣ ) : مقياس للرأس•

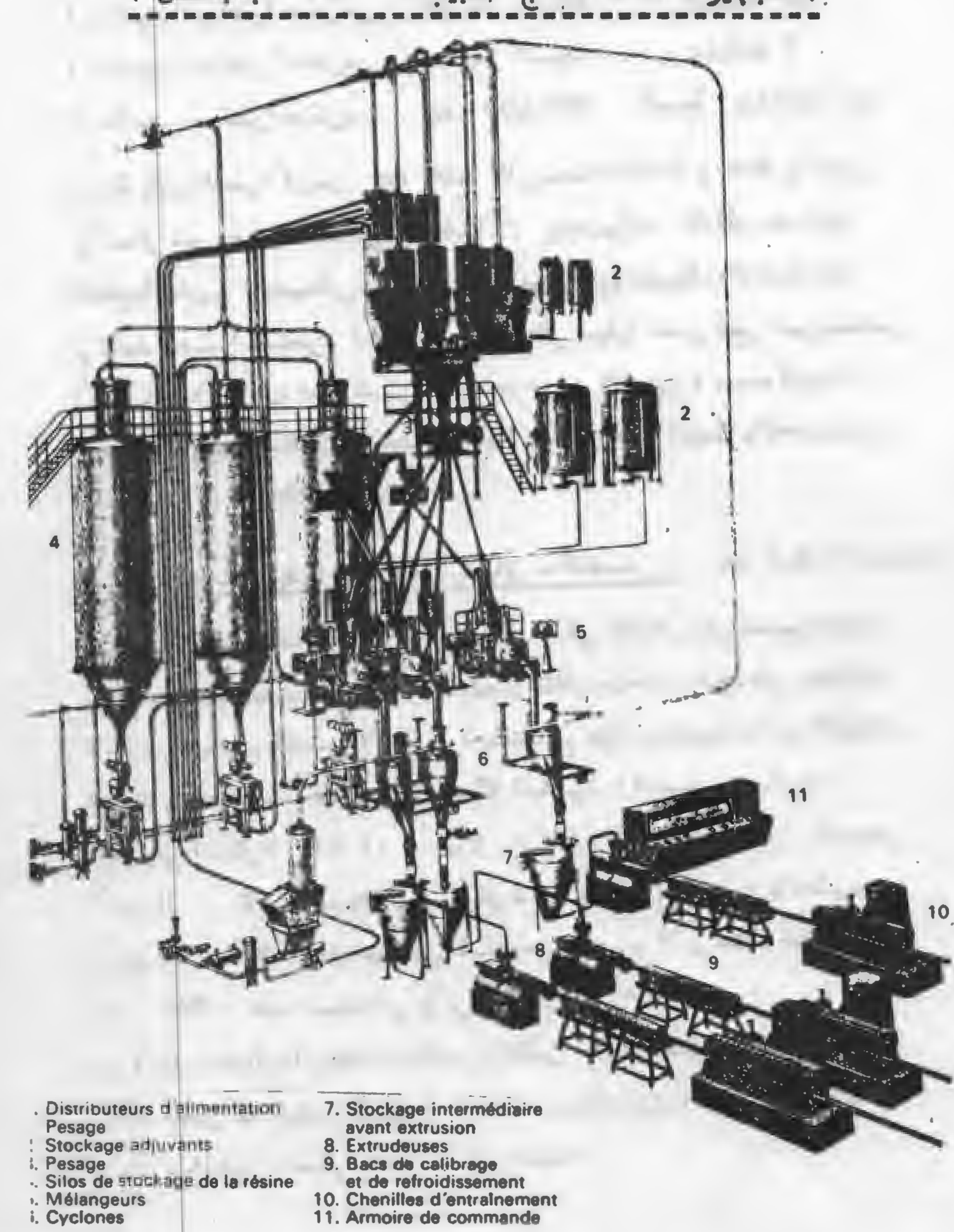
( ٤ ) : ضغط : $1,5\text{-}2\ Kg/cm^2$

( ٥ ) : خيط يتصل بالمكبس•

( ٦ ) : مكبس محكـم • ( ٧ ) : انبوب مبثوق

بالمجموعة الكلية • يجب ملاحظة أن المنتـج الصلب لا يمكن لفـه ويجب أن يقطع ويكدس بسرعة • بما أن الانتاج يتم بشكل مستمر فهناك امكانيـــة استعمال منشار تابع ومجموعة اتوماتيكية للتكديس بشكل متزامن مع الانتاج • عمليا يمكن الحصول على سرعات الانتاج التالية :

## ( التجهيزات الكاملة لانتاج أنابيب ال PVC بالبثق )



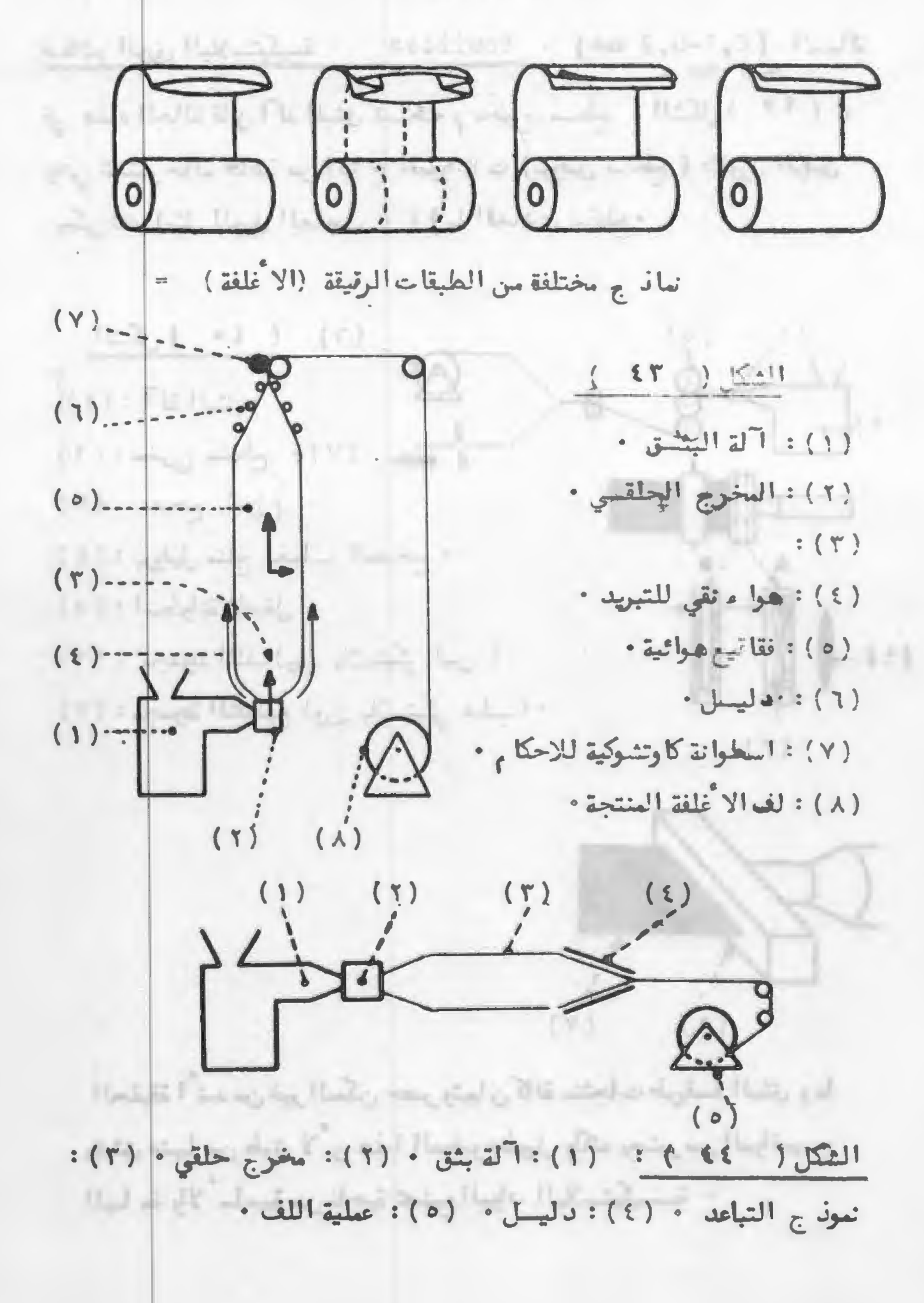

. Distributeurs d'alimentation Pesage
! Stockage adjuvants
3. Pesage
-. Silos de stockage de la résine
-. Mélangeurs
i. Cyclones
7. Stockage intermédiaire avant extrusion
8. Extrudeuses
9. Bacs de calibrage et de refroidissement
10. Chenilles d'entraînement
11. Armoire de commande

١ ـ انبوب ذو قطر أصغر من 30 mm السرعة 20 m/min
٢ ـ انبوب ذو قطر أصغر من 100 mm السرعة 5 m/min
٣ ـ انبوب ذو قطر أصغر من 300-400 mm السرعة 0,5 m/min

عند ما يكون القطر أكبر من 400 mm فان معدات الانتاج تحتاج الى رأسمال كبير وخصوصا المخرج filière وتجهيزاته . كذلك هناك القطع والتخزين فيصبحان مشكلة هامة . من بعض التطبيقات الخاصة فقد تم تشيد تجهيزات متحركة : آلة بثق تحمل على سيارة شحن تنتج انبوب مستمر أو باستخدام قاطرة قطار تسير بنفس سرعة خروج الانبوب ، بهذه الوسائل تم صنع أنابيب بأقطار كبيرة كقطعة واحدة بهدف تجنب الوصل باللحام (أنابيب PEhd ) .

<u>تصنيع الطبقات الرقيقة (الأغلفة) بالبثق ـ النفخ :</u> 0,2 mm > السماكة

بعملية البثق وبمساعدة مخرج filière حلقي الشكل يمكن تصنيع طبقات رقيقة جدا حيث بعد ذلك تضغط على ملفات ساحبة موضوعة على مسافة كافية من المخرج لتجنب الالتصاق . يستخدم هواء مضغوط داخل الطبقات الرقيقة بهدف شدها لتصل الى السماكة المطلوبة . التبريد يتم بالهواء الخارجي الشكل ( ٤٣ ) ، وأحيانا برش الماء (حالة الـ PP ) . من أجل الـ PE يستخدم آلة بثق مع رأس قائم الزاوية . بالعكس من أجل الـ PVC المحور يكون نفسه محور المخرج لأن هناك خطر احتراق الـ PVC عند استخدام رأس بزاوية قائمة .
من أجل الطبقات الرقيقة ذات العرض القليل ، يمكن تصنيع عدة إغلفة بآن واحد لنفس آلة البثق ، الشكل ( ٤٤ ) . هناك طرق أخرى بنفس المبدأ البثق ـ النفخ ، تعطي منتجات أكثر تعقيدا .




نماذج مختلفة من الطبقات الرقيقة (الأغلفة) =

الشكل (٤٣)

(١) : آلة البثق .

(٢) : المخرج الحلقي .

(٣) :

(٤) : هواء نقي للتبريد .

(٥) : فقاقيع هوائية .

(٦) : دليل .

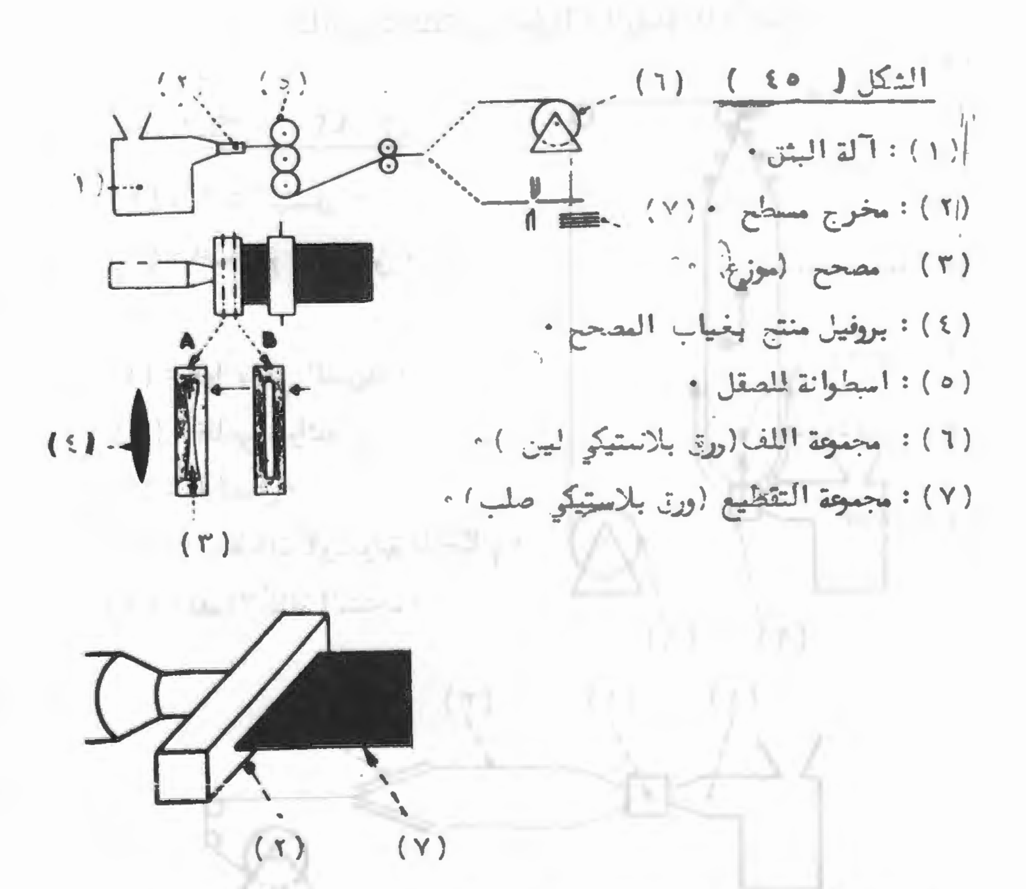
(٧) : اسطوانة كاوتشوكية للاحكام .

(٨) : لف الأغلفة المنتجة .

الشكل (٤٤) : (١) : آلة بثق . (٢) : مخرج حلقي . (٣) : نموذج التباعد . (٤) : دليل . (٥) : عملية اللف .

**صفائح الورق البلاستيكية : Feuilles ( 0,1-0,2 mm ) السماكة < 1 mm .**

في هذه الحالة فان آلة البثق تستخدم مخرج مسطح ، الشكل ( ٤٥ ) ، وهي تعتبر حالة خاصة من انتاج البروفيلات (بروفيل مسطح ) . الورق الرقيق يمكن لفه (مثل الورق العادى ) ، أما العادى فيقطع .




الشكل ( ٤٥ )

( ١ ) : آلة البثق .

( ٢ ) : مخرج مسطح .

( ٣ ) : مصحح (موزع) .

( ٤ ) : بروفيل منتج بغياب المصحح .

( ٥ ) : اسطوانة للصقل .

( ٦ ) : مجموعة اللف (ورق بلاستيكي لين ) .

( ٧ ) : مجموعة التقطيع (ورق بلاستيكي صلب ) .

**الحقيقة أنه من غير الممكن حصر وتبيان كافة منتجات طريقة البثق وما يشتق عنها من طرق لأن هذا الموضوع طويل ولكنه يعتبر من المواضيع الهامة والأساسية من ناحية تصنيع المواد البلاستيكية .**

## ٣ - الصقـــــل : Calandrage

استخدمت هذه الطريقة منذ زمن بعيد من أجل الكاوتشوك وتستخدم حاليا بشكل واسع لبعض مواد البلاستيك الحرارى مثل ( pvc ) اللدن والصلب وكذلك ( PE ) ، وهذه الطريقة تسمح بصناعة الرقائق والاغلفة والصفائح بشكل مستمر بسماكات مختلفة ، وتتم بمرور المادة البلاستيكية بين اسطوانات مسخنة لدرجة حرارة ١٥٠ - ٢٠٠ م وتنظم هذه الحرارة اتوماتيكيا ، محاور الاسطوانات تكون متوازنة والبعد بينها يتناقص تدريجيا حتى الحصول على السماكة المطلوبة الشكل ( ٤٦ ) . سرعة الاسطوانات تتراوح بين ٤٠ - ٢٠٠ م /دقيقة .

### ميزات العمليـــة :

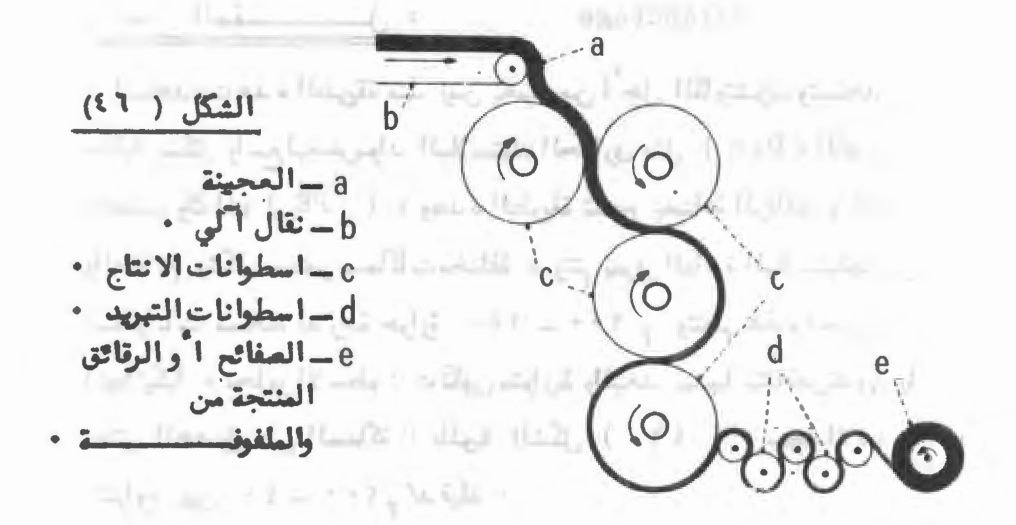
١- مستوى عالي من الانتاج .
٢- منتجات ذات أبعاد دقيقة جدا ، حيث يمكن انتاج رقائق بسماكة ٠,٠٥ م وبعرض ١,٨ متر ، وبسرعة ١٠٠ م / دقيقة .

### مساوئ العمليـــة :

الحاجة لتوظيف رأسمال كبير لهذا النوع من الانتاج ، فبالاضافة لثمن الالات فان صيانتها وتهيئتها للانتاج مكلف كذلك ( فمثلا يتطلب تهيئة ووضع مجموعات الصقل في حالة توازن عدة أيام وهذا يحتم ضرورة عدم الانتاج الا بكميات كبيرة - ١٠٠ طن واكثر - ) .
الغازات الناجمة عن عمليات الصقل خطرة ، لذا يجب امتصاصها والتخلص منها بشكل جيد .

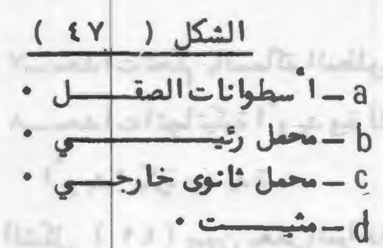
### التجهيزات :

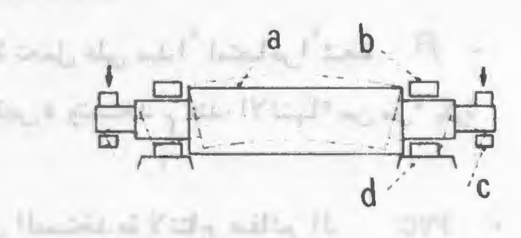
آلة الصقل تحتوى من ٢ - ٥ أسطوانة ( غالبا اربعة اسطوانات ) ، كل




اسطوانة يمكن ان تعمل لوحدها بسرعة محددة تماما بواسطة محرك ذو سرعة متغيرة بشكل يتلائم مع درجات الحرارة لمعدات الصقل • قطر الاسطوانـــة حوالي / ٨٠ سم / من الفونت المسقى وقساوته السطحية حوالي ٥٠٠ برينل وتسخن بواسطة جريان داخلي لمائع حراري ( زيت أو ماء مسخن جدا ) • المصاعب الكبيرة في عملية الصقل تكمن في الحصول على درجة حرارة متجانسة على طول الاسطوانة ، وتكمن كذلك في القوى الكبيرة المتولدة من مرور المادة البلاستيكية بين الاسطوانات حيث يؤدى هذا الى حدوث انعطاف بالاسطوانة *flexion* ويسبب عدم انتظام في سماكة المنتجات ويمـكن تلافي ذلك بعدة طرق منها :

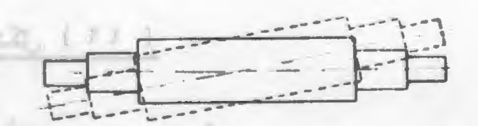
١ — التصحيح بواسطة تبديل الشكل للاسطوانة : وتتم هذه العملية بتقويس الاسطوانة باتجاه الشد بطريقة تصحح انعطافها بالنسبة لشكلها الاصلي ، وذلك بالتأثير بقوة على المحامـل الثانوية الخارجية للاسطوانة عند نقاط التثبيت بواسطة رافعة هيدروليكية الشكل ( ٤٧ ) ، التصحيح يكون بحدود + ٠,٠٥ مم •




٢- التصحيح بواسطة حرف الاسطوانات : ويتم هذا بحرف احدى الاسطوانات بالنسبة لمحورها الأصلي بحيث ان الانعطاف يتوازن اصطناعيا بفعل المحركين المؤثرين على محامل الاسطوانة ، ويكون التصحيح بحدود ٠,٢ م ، كما في الشكل ( ٤٨ ) .

الشكل ( ٤٨ )



في الآلات الحديثة تستخدم الطريقتين سوية للحصول على أفضل تصحيح ممكن .
هناك بعض التجهيزات المستعملة منها الاضافي ومنها الاحتياطي نذكر اهمها :

١- خلاط للمزج ويستخدم لتحضير مختلف الاشكال المستعملة من ال PVC واضافاته .
٢- معدات خاصة للقيام بعملية مزج نسيج معين مع صفائح البلاستيك المنتجة .
٣- فاصل مغناطيسي لتجنب تولد الذرات المعدنية على الاسطوانات .
٤- بكرات دورانية للف المنتج الخارج من آلات الصقـــل .
٥- تجهيزات لاضافة بعض انواع الحبيبات المختلفة حسب الحاجة للصفائح أو الرقائق عند خروجها ساخنة من آلات الصقل .
٦- أسطوانات للتبريد من الفولاذ الغير قابل للصدأ ، تبرد هذه الاسطوانات بواسطة جريان داخلي للماء المبرد ، عددها وأبعادها يكون تابع للشكل

..-١١

٧ـ معدات تحكم بالسماكة المطلوبة تعمل على مبدأ امتصاص أشعة β ·

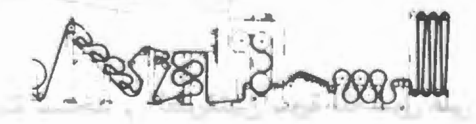
٨ـ معدات أتوماتيكية أو يدوية للقص، وتستخدم عند الانتهاء من ملء بكرة أو بدء بكرة جديدة ·

الشكل ( ٤٩ ) يبين بعض المراحل المستخدمة لانتاج صفائح ال PVC ·

الشكل ( ٥٠ ) يبين المراحل المستخدمة لانتاج الأغطية الأرضية وهي عملية مزدوجة ( إنتاج + تلبيس ) وهي تقنية اخرى جديدة ·



الشكل ( ٤٩ )



الشكل ( ٥٠ )

تطبيقات :

الصقـــل يعطي صفائح بسماكات مختلفة من أجل التغليف بطريقة حرارية ( الفواكه ، كافة المواد الغذائية ···· ) ، البرادى ، الأغطية ، سقوف السيارات ······ وهناك تطبيقات كثيرة لا حصر لها ولا مجال لسردها الآن ·

++++++++++++++
++++++++++++
++++++++++
++++++++
++++++

٤ ـ تصنيع البلاستيك الحراري بالتشكيل : Formage

يستخدم مبدأ التشكيل وتقنيته لمواد البلاستيك الحراري بشكل واسع ومتزايد وفي مجالات متعددة .

المبدأ : عملية التشكيل تبدأ من نصف منتج ( demi-produit ) على شكل صفائح صلبة بسماكات مختلفة توضع في حيز غير قابل للتشوه ثم تسخن ، عند ما تصبح الليونة كافية يتم تشكيلها بعدة طرق مختلفة على قالب ، يستخدم لذلك أداة ضاغطة أو بالهواء المضغوط أو بالاثنين معا .

عملية التشكيل للمواد البلاستيكية تماثل بشكل واضح عملية طرق المعادن للصفائح الرقيقة . هذا التماثل سطحي أكثر منه داخلي ، وبفحص أكثر دقة يظهر أن الاختلافات في تركيب المواد المحولة أساسية وواضحة تماما من الناحية الحرارية والتقنية وكذلك من ناحية الخواص العامة .

شروط التشكيل : لوعدنا لمخطط Tobolsky حيث هناك خمسة مراحل ممثلة بخمسة مناطق تمر بها المادة البلاستيكية ( TP ) عند تغير درجة الحرارة حيث كل مرحلة تختلف تماما بخواصها عن المراحل الأخرى ، لوجدنا أن التشكيل مستحيل في المنطقة الاولى من المخطط ، صعب في المنطقة الثانية الا أنه سهل جدا في المنطقة الثالثة . الحدود الدنيا للمنطقة الربعة تتطابق مع بدء الانصهار Fusion وهذا هو المجال الحراري الذي يسمح بعمليات الحقن والبثق والصقل كما رأينا سابقا .

التشكيل يتم بالطريقة التالية :

١ ـ تسخن المادة لدرجة حرارة ضمن المنطقة الثالثة لمخطط Tobolsky

٢ ـ تشكل المادة وفق المطلوب وتستخدم وسائل فحص ومراقبة عن بعد .

٣- تبرد المادة لدرجة حرارة أخفض من Température de transition درجة حرارة تحول المادة . ويجب المحافظة على الضغط والقوة اللازمة للتشكيل خلال عملية التبريد وهذا يؤدي إلى تشكل اجهادات داخلية . القطعة تبقى بالشكل المراد لها . نلاحظ أننا لو أعدنا تسخين القطعة الناتجة بالتشكيل الى درجة حرارة في المجال الكاوتشوكي ، فنلاحظ أن القطعة تأخذ الشكل والأبعاد الأصلية للمادة الأساسية Semi-produit وتتخلص أحيانا من الاجهادات الداخلية التي حصلت نتيجة عملية التشكيل . تشكيل البلاستيك يتم بعد تسخين المادة المسخنة وهذا ليس ضرورى للمعادن . نلاحظ أن هناك مشكلة حرارية تتحكم بمجموع عملية التشكيل لأسباب واضحة وهي صعوبة التسخين المتجانس للمواد العازلة للحرارة . هذه المشكلة تصبح حادة جدا عند تشكيل صفائح ال Polystyrènes الرقيقة والهشة والعازلة ، ويتم حل هذه المشكلة بالتسخين بمساعدة مغذى أشعة تحت الحمراء ودورة التسخين يجب أن تكون مبرمجة بدقة وحتى عشر الثانية .

ان ضغط بسيط ( بضع ضغوط جوية ) يكفي لتشكيل البلاستيك الحرارى في حين أن ضغط النقطة الحرجة للجريان اللدن للمعادن يصل الى مئات من الضغوط الجوية . كذلك القوة اللازمة لتشكيل البلاستيك لا تقارن وليس لها مقياس مشترك مع المعادن .

يجب أن يكون تشكيل المواد البلاستيكية سريع حتى تبقى المادة كوتشوكية خلال عملية التغيير .

<u>ميزات عملية التشكيل :</u>

١- استخدام قوالب بسيطة ( عمليا بدون ضغط ) وذات كلفة قليلة .

٢- امكانية الانتاج بكميات قليلة ١٠٠٠ - ٢٠٠٠ قطعة .

٣- امكانية استخدام صفائح بسماكات رقيقة .

٤ـ امكانية شد السطح وحتى خمسة أضعاف أبعاده الأصلية وأحيانا أكثر.

مساوئ عملية التشكيل :

١ـ النصف منتج المستخدم Semi - produit أكثر كلفة من الحبيبات .

٢ـ الدقة الهندسية محدودة .

٣ـ سماكات غير متجانسة .

٤ـ استحالة الانتاج بسماكات صغيرة جدا .

المواد البلاستيكية القابلة للتشكيل :

مجموع المواد البلاستيكية الحرارية ذات التركيب الجزيئي الغير منتظم Amorphes هو الأكثر استعمالا :

PS ومشتقاته ، PVC ومشتقاته ، CA ومشتقاته ،

PMMA ، بالاضافة لذلك يجب الاشارة الى أنه بالرغم من المصاعب الكبيرة فقد بدء باستخدام المواد التالية في عمليات التشكيل Polyolé fine ( منتظم جزئيا ) ، PEhd ، PEhd وكذلك PP .

التسخين :

في الحقيقة ان تسخين المادة بشكل متجانس يشكل احدى المراحل الأساسية للتشكيل الحراري . الزمن الضروري للحصول على درجة الحرارة المثالية يشكل تبعا للحالات ٥٠ ـ ٨٠ ٪ من الزمن الكلي للدورة الانتاجية .

التسخين السريع يزيد معدل الانتاج ويخفض الكلفة .

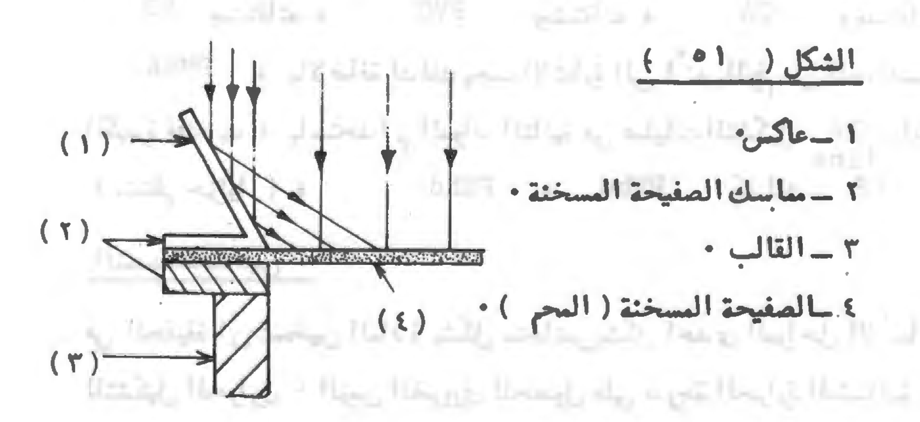
بصورة رئيسية يمكن تمييز طريقتين للتسخين ويتم الاختيار وفق حجم الانتاج المطلوب :

١ـ في حالة الانتاج الكبير : التسخين يتم لدرجة حرارة أعلى من حرارة

القالب بواسطة ألواح تبث أشعة تحت الحمراء ، أو بواسطة الناقلية باستخدام ألواح مسخنة •

٢ـ في حالة الانتاج القليل : يتم التسخين بحمل حراري قسري بمحم ، أو بالتغطيس في سائل قبل عملية التشكيل •

ان سرعة رفع درجة الحرارة تابع للخواص الفيزيائية ، أبعاد القطعة، لمجموعة التسخين ، كذلك للضياع المحتمل بواسطة التوصيل ، الحمل الحراري والاشعاع • كثافة التسخين تعتمد بصورة رئيسية على المادة وعلى سطح القطعة • أحد الشروط الأساسية لنجاح عملية التشكيل هو عزل المادة حراريا أي غياب الضياع بالتلامس بين المادة والأجزاء الضاغطة عليها مثلا • بصورة عامة يعوض الفقد بالتلامس مع الهيكل البارد ( في حالة التسخين بالأشعة تحت الحمراء ، وهي الأكثر استعمالا ) باستعمال عاكس كما بالشكل ( ٥١ ) ،




الشكل ( ٥١ )

١ ـ عاكس •
٢ ـ ماسك الصفيحة المسخنة •
٣ ـ القالب •
٤ ـ الصفيحة المسخنة ( المحم ) •

مع ذلك في بعض الحالات المحددة نحاول الحصول على ظروف حرارية متباينة للقيام بالتشكيل في مناطق محددة ، وبهذه الطريقة نسوى جزئيا التغيرات بالسماكة •

## أنواع عمليات التشكيل :

هناك عدة عمليات للتشكيل وتتم غالبا بأربعة طرق تكون مشتركة بين بعضها ، من هذه العمليات : الطرق Emboutissage ، السحب Etirage النفخ Soufflage ، الامتصاص Aspiration .

### ١- طرق حرارية - ميكانيكية : Thermomécanique

هذه العملية تتيح التشكيل بأعماق مختلفة للقطع بواسطة الطرق ، الشكل ( ٥٢ ) ، أو السحب فوق قالب ، الشكل ( ٥٣ ) . يستعمل بمعظم الأحيان قالب أو نواة غير كاملة تسمح بأكبر تشكيل لكن مع تحديد الضياع الحراري الشكل ( ٥٤ ) . بهذه المعدات البسيطة يمكن الحصول على سطح حالته جيدة جدا . هناك عدة أشكال لهذه التقنية منها الطرق فوق الكاوتشوك ، الشكل ( ٥٥ ) ، والطرق مع تقطيع جوانب المادة الشكل ( ٥٦ ) .

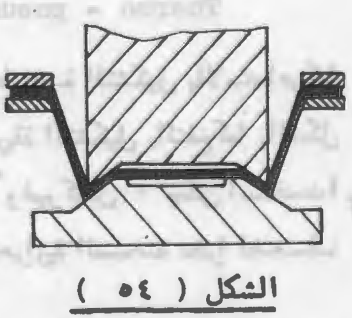
مهارة العاملين بمجال التشكيل سمحت بايجاد تقنيات بسيطة ومعدات ووسائط بسيطة ، مثل الطرق فوق نموذج الشكل ( ٥٧ ) ، والطرق على سطح مدور الشكل ( ٥٨ ) .



الشكل ( ٥٢ )

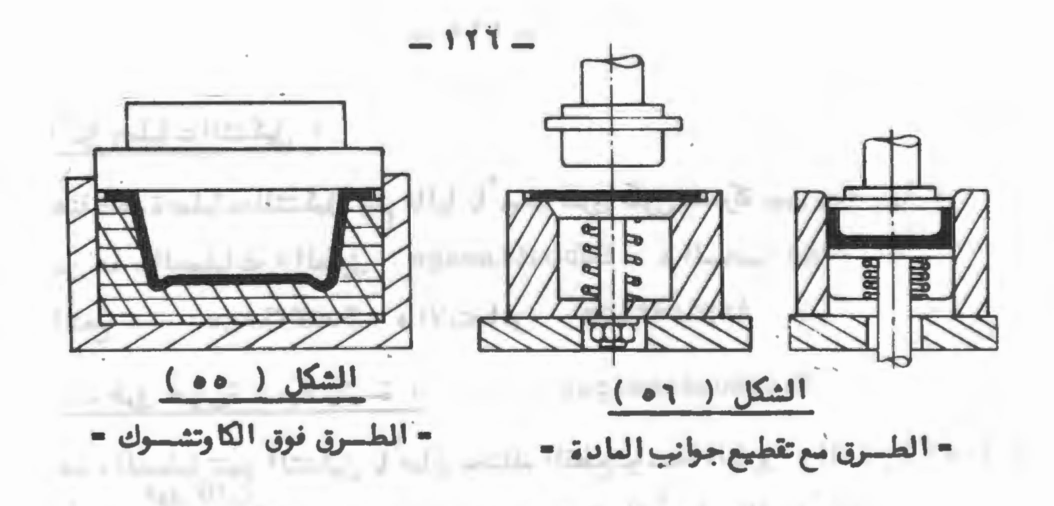
= الطـــرق =

الشكل ( ٥٣ ) التشكيل بالأداة الضاغطة



الشكل ( ٥٤ )

طرق بالضغط وقالب غير كامل

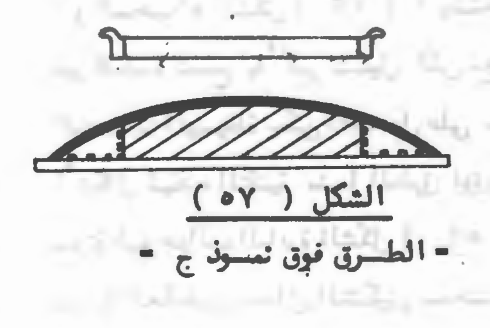


**الشكل ( ٥٥ )**

- الطـرق فوق الكاوتشـوك -

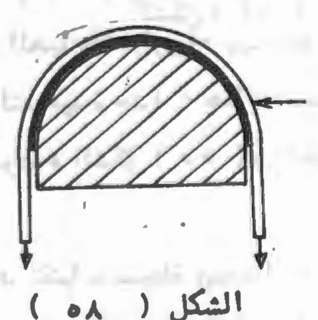
**الشكل ( ٥٦ )**

- الطـرق مع تقطيع جوانب المادة -



**الشكل ( ٥٧ )**

- الطـرق فوق نمـوذ ج -



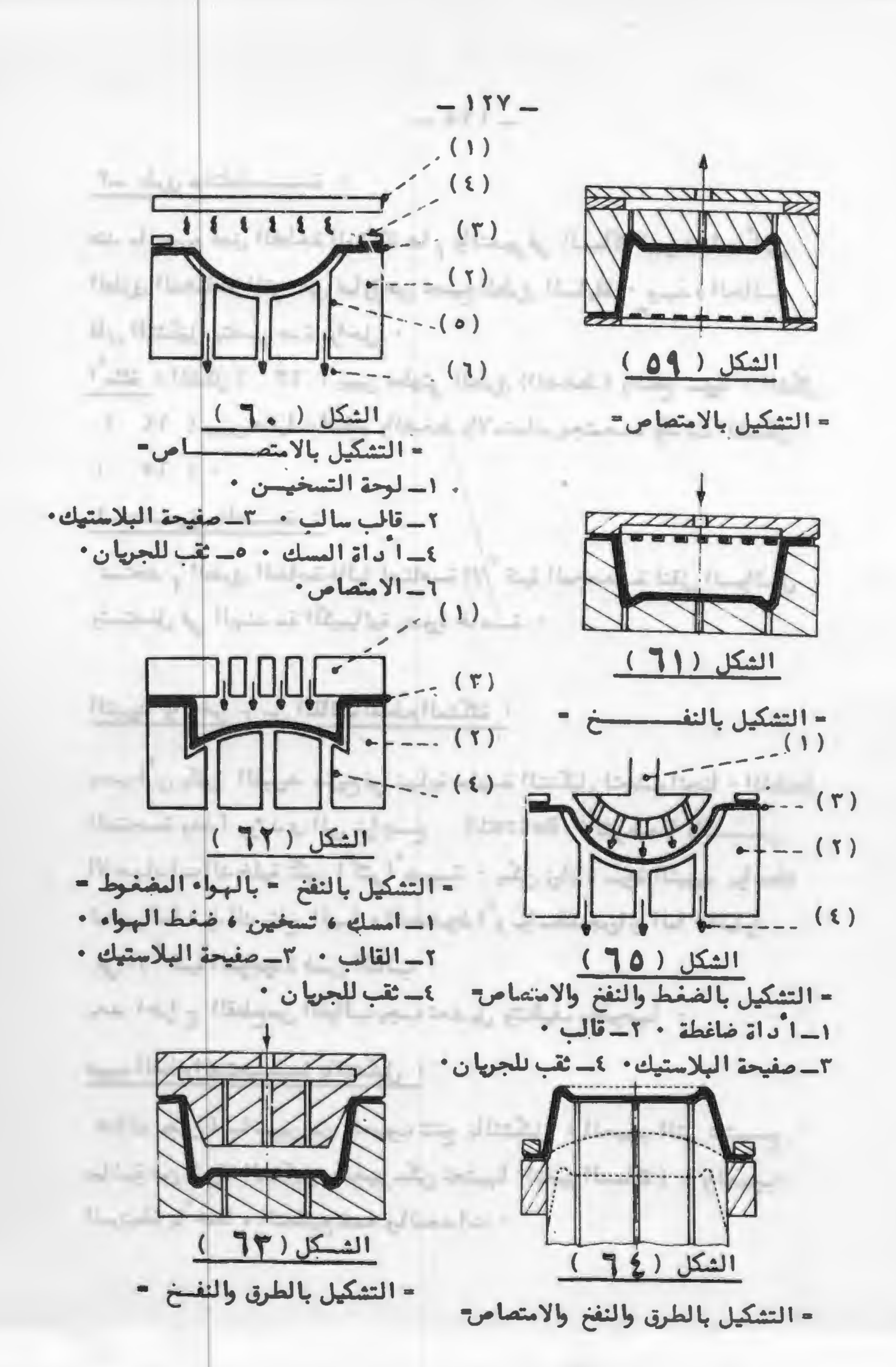
**الشكل ( ٥٨ )**

- الطرق علـى سطح مدور -

**٢ــ طـرق حرارية غازية :** Thermo - pneumatiques

من المستحيل في حالة المعادن استخدام طريقـة التشكيل بالامتصاص كما بالشكل ( ٥٩ ) والشكل ( ٦٠ ) أو طريقة التشكيل بالنفخ كما بالشكل ( ٦١ ) والشكل ( ٦٢ ) في قالب كامل أو غير كامل • يمكن استخـدام هذه العمليات لتشكيل المواد البلاستيكيـة الحرارية المسخنة نظرًا لضعـف القوى المطلوبة للتشكيل •

هذه التقنيات تتطلب معدات ذات تكاليف قليلة وسهلة الاستعمال والأتمتة •




الشكل ( ٥٩ )

= التشكيل بالامتصاص =

الشكل ( ٦٠ )

= التشكيل بالامتصاص =

١ـ لوحة التسخين ٠
٢ـ قالب سالب ٠ ٣ـ صفيحة البلاستيك ٠
٤ـ أداة المسك ٠ ٥ـ ثقب للجريان ٠
٦ـ الامتصاص ٠

الشكل ( ٦١ )

= التشكيل بالنفخ =

الشكل ( ٦٢ )

= التشكيل بالنفخ = بالهواء المضغوط =

١ـ امسك ، تسخين ، ضغط الهواء ٠
٢ـ القالب ٠ ٣ـ صفيحة البلاستيك ٠
٤ـ ثقب للجريان ٠

الشكل ( ٦٥ )

= التشكيل بالضغط والنفخ والامتصاص =

١ـ أداة ضاغطة ٠ ٢ـ قالب ٠
٣ـ صفيحة البلاستيك ٠ ٤ـ ثقب للجريان ٠

الشكل ( ٦٣ )

= التشكيل بالطرق والنفخ =

الشكل ( ٦٤ )

= التشكيل بالطرق والنفخ والامتصاص =

٣ـ طرق مختلطـــــــة :

عند ما يصبح عمق القطعة المشكلة هام والتغير في السماكة كبير ، نلجأ الى الطرق المختلطة التي هي عبارة عن تجميع للطرق السابقة . وبهذه الحالـة فان التشكيل يتضمن عدة مراحل .

أمثلة : الشكل ( ٦٣ ) يبين عمليتي الطرق (الضغط) والنفخ سوية . الشكل ( ٦٤ ) يبين عمليات النفخ والضغط والامتصاص مجتمعـة وكذلك الشـكل ( ٦٥ ) .

٤ـ طـــرق خاصـــة :

تستخدم الطرق الخاصة غالبا لصناعـة الأقنية المخصصـة لنقل السوائـل وتستعمل في الهندسة الكيميائية بصورة خاصـة .

التبريد والاخراج من القالب للقطع المشكلة :

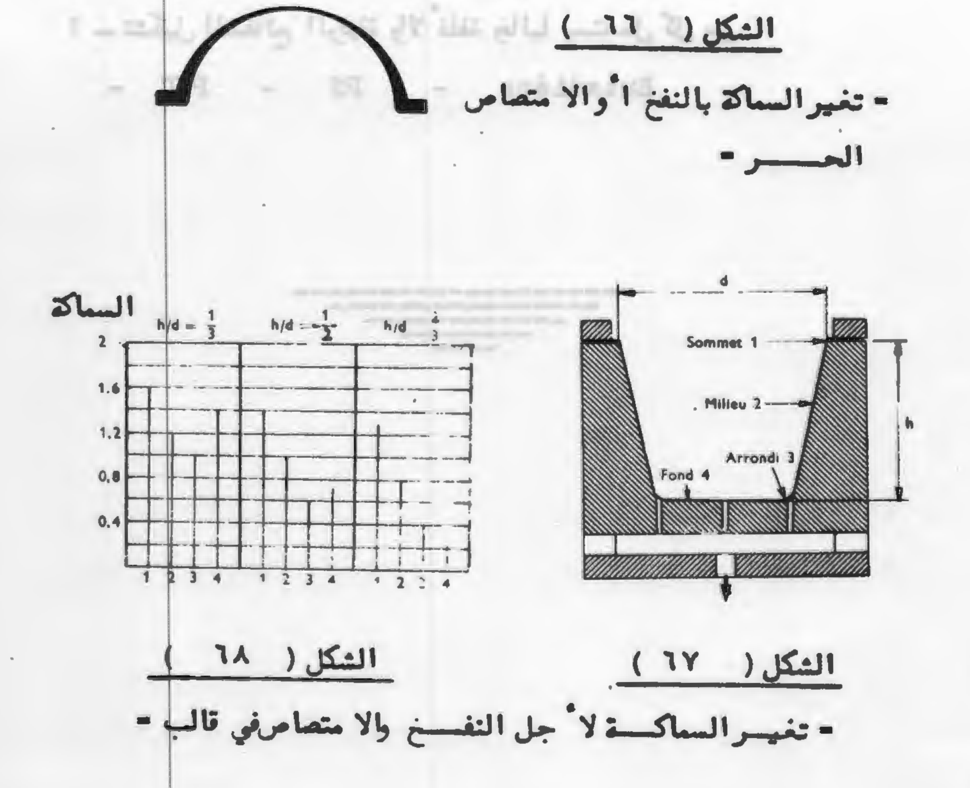
يجب أن يكون التبريد سريع في نهاية عمليـة التشكيل لتجنب انحناء القطعة المنتجـة وهذا يؤدى الى تراجـع Retrait أكثر ضعفا ولكـــن الاجهادات الدخلية تكون أكثر أهميـة . يمكن زيادة سرعة التبريد بواسطة تبخير الماء وذلك بنفخ الهواء المضغوط أو بواسطة جريان الماء البارد في الأقنية الموجودة ضمن القالب .

بعد اخراج القطع من القوالب يجب تعديل وتنظيف سطوحها .

عيوب القطع المنتجـــة بالتشكيل :

هناك نوعين أساسيين من العيوب تنتج بالتشكيل : العيوب التي تنتـج مباشرة عن طريقة التشكيل والغير ممكن تجنبها (تغير السماكة) ، والعيوب المرتبطة بأخطاء التصنيع نفسه وبالمعدات .

سنقتصر بالحديث عن عيوب تغير السماكة الناتجة عن التقنية المستعملة فقط :
تغير سماكة الألواح عند التشكيل وهذا يتعلق بعملية التشكيل نفسها .
النفخ أو الامتصاص الحر الشكل ( ٦٦ ) أو في قالب الشكل ( ٦٧ )
والشكل ( ٦٨ ) يمكن أن يؤدي الى ضعف هام في القطعة في
الأمكنة الأكثر بعداً عن ماسك صفيحة التسخين . بالمقابل فالأجزاء
الجانبية تتحف لأن القطعة تبرد بالتلامس بالقالب والأداة الضاغطة
وتتشوه قليلاً . بمعالجة جيدة باعتبار النقطتين السابقتين يمكن تنظيم
السماكات الى حد ما .




الشكل ( ٦٦ )

- تغير السماكة بالنفخ أو الامتصاص الحر -

الشكل ( ٦٨ )

الشكل ( ٦٧ )

- تغير السماكة لأجل النفخ والامتصاص في قالب -

يتم اختيار عملية وطريقة التشكيل الأكثر ملائمة للانتاج استنادا للعديد من العوامل منها :

نوع المادة المشكلة ، عمق القطعة ، الدقة المطلوبة ، سماكة الجدران ، المعدات والوسائل المتوفرة ، مظهر القطعة .... الخ .

هناك نوعين متميزين لتطبيقات التشكيل الحراري وذلك حسب : الطبيعة التجارية ، خواص المعدات المستعملة وأهمية الكميات المنتجة . هذين النوعين هما :

١ ـ تشكيل الألواح : حيث تستعمل بمعظم الحالات المواد التالية :

- PMMA - PVC - ABS - PS .

٢ ـ تشكيل الصفائح الرقيقة والأغلفة وغالبا يستعمل كل من :

- PVC - PS - Butadiène .



## ٥ ـ تصنيع البلاستيك الحراري بالسكب والتضمين : Coulée et inclusion

هذه العملية تطبق على كل من البلاستيك الحراري TP والبلاستيك المتصلب حراريا TD .

المبدأ : الصب : المادة البلاستيكية تسكب وهي في الحالة السائلة ضمن قالب حيث تأخذ شكله عند التصلب : والتضمين هو وضع قطعة أو أي منتج داخل قاع القالب حيث يتم الصب فوقه ، ويمكن أن تتم العملية بشكل اكسا ء أو تلبيس لقطعة معينة بحيث يكون حجم القطعة اكبر من حجم المادة البلاستيكية المصبوبة .

ميزات العمليـة :

١ ـ بساطة العمليـة .

٢ ـ قالب قليل الكلفـة .

٣ ـ امكانية انتاج قطع سميكة .

مساوىء العمليـة :

١ ـ العملية بالأصل يدويـة .

٢ ـ قطع بدون تماسك كبير ( مقاومة ميكانيكية ضعيفة ) .

٣ ـ خطر تشكل فقاعات هوائية عند الادخال .

من الضروري للحصول على منتج متجانس هز القالب جيدا وتركه ليسكن بعد ذلك من أجل منع تشكل الفقاعات ، يمكن كذلك معالجة هذه الظاهرة بالعمل في الفراغ Sous vide . في الحقيقة هـذه العملية ليست صناعية كثيرا .

القوالب : تصنع من الخشب أو الجص( Plâtre ) ، البلاستيك (خاصة ال PE ) ، معدن أو زجاج .

تطبيقـــــات :

بصورة عامة يمكن بواسطة السكب انتاج تصاميم مختلفة ، تلبيس واكساء القطع المختلفة أو كعازل ضمن مجموعات . من بين التطبيقات كذلك :

ـ تقليد الأطعمـة ، طعم صناعي للصيد ..... الخ .

ـ صفائح من الأكرليك Acrylique بثخانة أكبر من 4 mm وتستغرق الدورة الانتاجية حوالي ٣٠ ساعة للصفيحة الواحدة وتكون الكلفة مرتفعة خصوصا للصفائح المستخدمة بصناعة الطائرات ( الصفائح الأقل سماكة تنتج بواسطة البثق لـ PMM ) .

ـ اكساء الأدوات الالكترونية بواسطة الـ Polyester أو époxydes (عازل ) أو Silicons (عازل واقي من الصدمات) .

ـ صيانة عينات تشريحية ، حيوانية أو جيولوجية . الشكل ( ٦٩ ) يبين صدفة محاطة بمادة البولي ستير Polyester .

ـ صنع نماذج كهدايا للمصانع والشركات تمثل رمز هذا المصنع أو الشركة أو منتجها محاط بالمادة البلاستيكية الشفافة جدا .

(١)

(٢)

(٤) (٣)

الشكل ( ٦٩ )

١ ـ مادة الـ Polyester .

٢ ـ الصـدفة .

٣ ـ حامل شفاف .

٤ ـ قالب من الـ PE .

آلة لحـــــــام بالتحريض (لحام بطول ٦,١م )

## ٦ – اللحام والالصاق : Soudure et Collage

اللحام هو عملية تجميع لقطعتين او اكثر من طبيعة واحدة ، ويتم ذلك بتسخين السطوح بالتلامس حيث يجب ان تكون المواد قابلة للتميع بالحرارة اى بلاستيك حرارى Thermoplastique باستثناء Polytétrafluoréthylène .

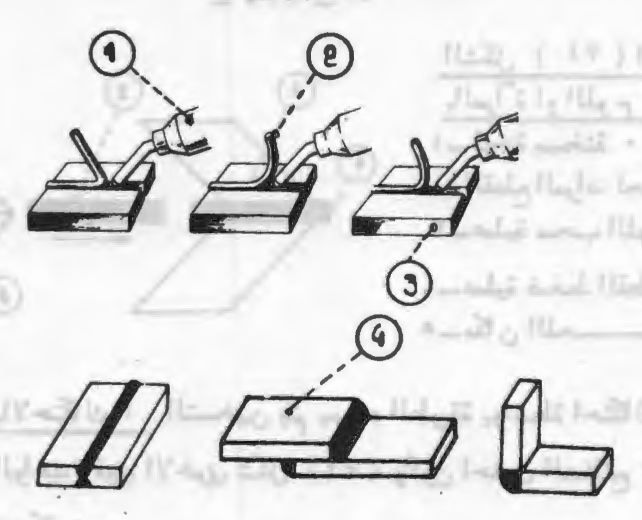
هذه المواد منها سهل اللحام ومنها الصعب، وطرق اللحام المتعددة ليست قابلة للتطبيق لكل انواع البلاستيك ( TP ) ، فمثلا طريقة اللحام Pertes diélectrique تعطي نتائج جيدة لل PVC في حين لا تصلح مطلقا لل PE حيث ظل زاوية الفقد ضعيف جدا . يمكن ان يتم الحام بطريقتين :

اولا : اللحام بالمشاركة : ويستخدم للبلاستيك الحرارى ( TP ) الصلب ذو السماكات الكبيرة .

ثانيا : اللحم بدون مشاركة : ويستخدم لكل انواع البلاستيك الحرارى ( TP ) الطرى والصلب، وخصوصا عندما تكون السماكات صغيرة .

عملية الالصاق Collage تستخدم لكل من البلاستيك الحرارى ( TP ) والبلاستيك المتصلب حراريا ( TD ) على شرط استخدام وتهيئة محاليل مذيبة او مواد لاصقة مناسبة .

اللحام بالمشاركة : ويستخدم لهذه العملية حملاج Chalumeau يعطي هواء ساخن ( بدون لهب ) يولده ضاغط او زجاجة هواء مضغوط يسخن كهربائيا او بواسطة الغاز بحيث تكون درجة حرارته على بعد ٥ مم من نقطة انطلاقه تتراوح بين ٢٠٠ – ٢٧٠°م وضغطه ١,٠ – ٠,٥ بار . الهواء الساخن يصهر قضيب اللحام فوق القطع المراد لحامها وتجميعها والتي تكون مشطوفة غالبا ( اذا كانت السماكة اكثر من ١ مم ) الشكل ( ٧٠ ) . مادة القضيب اللحامي تكون مماثلة لمادة القطع الملحومة ( لحام متجانس ) ويصنع بواسطة البثق ومقطعه دائرى او مستطيل واحيانا مثلث . سرعة اللحام تصل الى ٧ م/دقيقة .



الشكل ( ٧٠ ) اللحام بالهواء الساخن

١- حملاج يعطي هواء ساخن . ٢- قضيب لحام بلاستيكي
٣- القطع او الالواح الملحومة . ٤- امثلة على هذا النوع من اللحام .

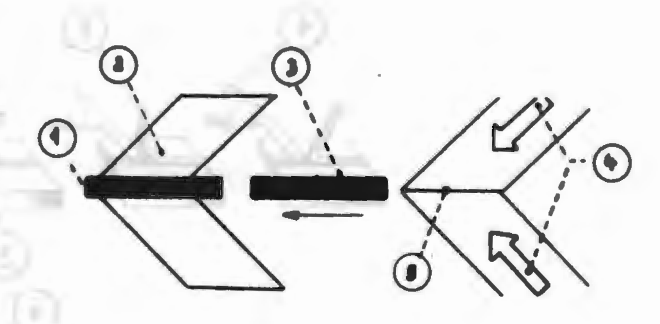
يستخدم هذا النوع من اللحم لصفائح الـ PVC حيث تتراوح السماكة من نصف الى عدة مليمترات ، كما تستخدم للحم الـ PE و PP .

اللحم بدون مشاركة : ويقصد به اللحام المباشر بين القطع بدون وجود وسيط مادى بينهما ، لهذا النوع ثلاثة طرق :

آ - اللحام الحرارى : Soudure thermique

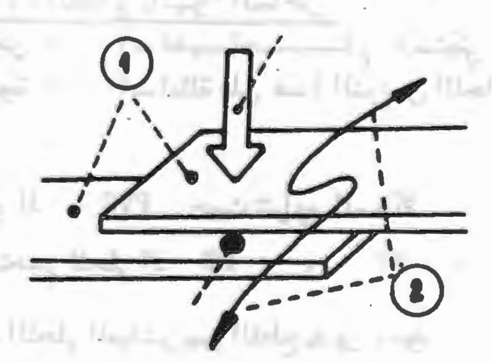
ويعتمد مبدأ هذه العملية على التسخين بالتوصيل الحرارى للاجزاء المراد لحامها حتى تصبح لينة للغاية. عندئذ تضغط على بعضها البعض وتبقى كذلك حتى تبرد ، ويمكن القيام بهذه العملية بعدة اشكال :

١ - اللحام بالمراة (اللوح ) : تضغط القطع المراد لحامها على صفيحة ساخنة ١٥٠ - ٣٠٠ م° ثم تسحب هذه الصفيحة سريعا وتضغط القطع على بعضها الشكل ( ٧١ ) . هناك الات نصف اتوماتيكية تقوم بهذه العملية بسهولة .



الشكل ( ٧١ ) اللحام بالمرآة او اللوح .
١ ـ لوحة مسخنة .
٢ ـ القطع المراد لحامها .
٣ ـ عملية سحب اللوح .
٤ ـ عملية ضغط القطع .
٥ ـ مكان اللحام .

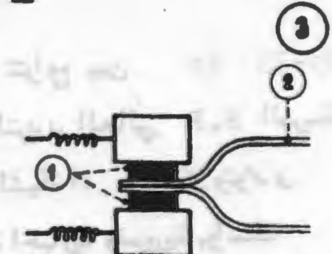
٢ ـ اللحام بالاحتكاك : التسخين يتم بهذه الطريقة بواسطة احتكاك القطع الملحومة الواحدة فوق الاخرى شكل ( ٧٢ ) وتكون احدى الصفائح ثابتة والاخرى متحركة .



الشكل ( ٧٢ )
اللحام بالاحتكاك
١ ـ الألواح المراد لحامها .
٢ ـ عملية احتكاك متساوية .
٣ ـ ضغط الألواح واللحام .

٣ ـ اللحام بالتحريض : Soudure par impulsion

يستخدم من اجل السماكات القليلة ( ٠,٠٨ ـ ٢,٠ مم ) وتتم العملية بحصر الجزئين المراد لحامهما بين فكين مسخنين كهربائيا (يمكن تسخين فك او اثنين وذلك تبعا للسماكة ) ، هذا يسبب انصهار البلاستيك ( من الخارج باتجاه الداخل ) ويتم اللحام بعد ضغط الفكين الشكل (٧٣) . تتم عملية التسخين بوقت قصير جدا ( ٠,٢٥ ـ ٥ ٢ ثانية ) وذلك لتجنب انصهار الكتلة ويتم تحديد الوقت وضبطه بواسطة موقت زمني . يغطى الفك الساخن عادة بطبقة من PFE لتجنب الانصهار عليه ، ويصنع احيانا من الالمنيوم .



الشكل ( ٧٣ ) آلة لحام بالتحريض

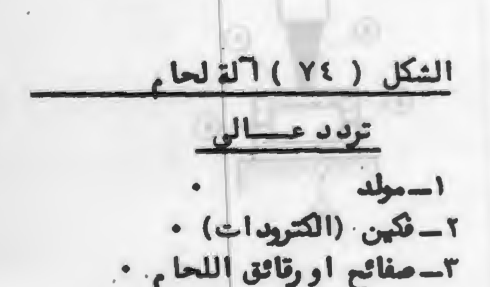
١ـ فكين مسخنين .

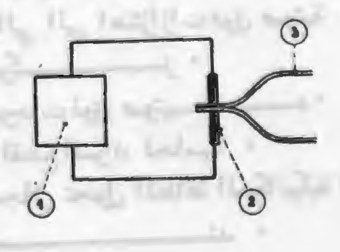
٢ـ صفائح أو رقائق اللحام .

استطاعة العناصر المسخنة ( ٣٠٠ وات/سم٢ ) والتبريد حسب تصميم الالة ويستخدم احيانا سلك مسخن لقص اطراف اللحام .
اكثر التطبيقات الشائعة لهذا النوع من اللحام هو لحام الاكياس والحقائب من الـ PE والتغليف بأنواعه .

ب ـ اللحام بالتردد العالي : Soudure haute fréquence
- HF -

يطبق هذا النموذج من اللحام بصورة رئيسية على المواد ذات السماكات القليلة والتي فقد العزل الكهربائي فيها مرتفع وهذا تابع لثابت العزل الكهربائي ولزاوية الفقد التي تتعلق بالتردد وبدرجة الحرارة .
العناصر المراد تجميعها تكون محصورة كذلك بين فكين بارزين الشكل (٧٤) .
ان مولد التردد العالي يفرغ شحنته الكهربائية بين الفكين ( الكترودات ) فيولد طاقة حرارية في كتلة المادة البلاستيكية ( من الداخل نحو الخارج ) في المنطقة الاكثر ملائمة وبذلك تتم عملية اللحام .





الشكل ( ٧٤ ) آلة لحام تردد عالي

١ـ مولد .
٢ـ فكين (الكترودات) .
٣ـ صفائح او رقائق اللحام .

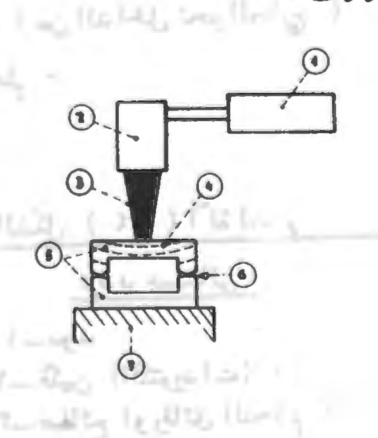
هذه الآلات جيدة من حيث المبدأ ٠ الاستطاعة تتراوح بين 0,25-25 Kw وتعمل بشكل مستمر ودائرى الا ان موجات التردد العالي H.F المرسلة ( f=27,12MHz= 11,11m ) يمكن ان تنتقل لشبكة ال 50 Hz وتؤدى الى تشويش برامج الراديو والتلفزيون ( الحماية اجبارية وضرورية بواسطة استخدام قفص Faraday مثلا ) ٠

يمكن لحلم رقائق ال PVC اللينة على هذه الآلة من اجل بعض التطبيقات الرائجة جدا : العاب النفخ ، الحوائج الشفافة ، الخزن البلاستيكية اللينة ٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠

## جـ ـ اللحام الفوق صوتي : Soudure Ultrasons ( US )

هذه الطريقة لا تتطلب من المواد المراد لحامها أى خواص مميزة ، تستطيع لحام معظم المواد البلاستيكية وحتى بعض المواد الاخرى ٠

مبدأ هذه العملية يعتمد على توليد طاقة حرارية تنتج بواسطة سلسلة موجات صوتية ، فهناك اولا مولد كهربائي يولد طاقة كهربائية بتردد عالي تتحول الى طاقة ميكانيكية اهتزازية بواسطة مركز موجات ( يجب ان يتطابق مع القطعة الملحومة ويجب تعديله عند تغير الشكل ) ومن ثم تتحول الى طاقة حرارية بمستوى الوصل الشكل (٧٥) تقوم بعملية اللحام ٠ وهناك نموذجين لهذه الالات :



الشكل ( ٧٥ ) آلة اللحام الفوق صوتية ٠

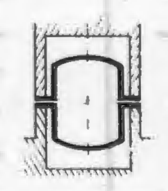
١ـ تغذيـــــــة ٠
٢ـ جهاز يحول الطاقة الكهربائية بتردد عالي الى اهتزازات فوق صوتية ٠
٣ـ مركـــــــز ٠
٤ـ موجات فوق صوتيـــــــه ٠
٥ـ القطع المراد لحامها ٠
٦ـ مجال تحول الطاقة الميكانيكية الى حرارة ٠
٧ـ مســــــــــند ٠

١ـ لحام قريب : الاداة المهتزة تتركب (تتطابق ) تماما فوق القطع الملحومة وتلامس ماامكن مستوى الوصل (اللحلم ) كما في الشكل ( ٧٦ ) .

٢ـ لحام بعيد : الاداة المهتزة تتلامس مع القطعة في نقطة بعيدة عن مستوى الوصل كما في الشكل (٧٧) .

بواسطة هذه التقنية يمكن صنع الات ندعوها تجاوزا الات خياطة للاقمشة ، والحقائب من المواد التركيبية ( Synthétique ) .

يمكن لحام المواد البلاستيكية الصلبة بهذه الطريقة بشكل جيد مثل ال PS ولكن غير مستحبة للمواد اللينة .من التطبيقات الشائعة : عاكس النور Cataphote فواشة الكربيراتور flotteur carburateur ، القداحات ، كثير من استعمالات الات التصوير والافلام العادية والسينمائية ......



الشكل ( ٧٦ )
آلة لحام فوق صوتية مقربـة



الشكل ( ٧٧ )
آلة لحام فوق صوتية مبعـدة

الالصاق : Collage

بالرغم من ان كل مواد البلاستيك الحرارى ( TP ) يمكن لحامها ( بعضها بسهولة والاخر بصعوبة ) ، الا ان عملية الصاقها احيانا صعبة .

ان ال PVD , PE , PP , PA , POM , PFE ,

لا تلصق او تلصق بشكل ضعيف جدا في حين ان ال PU , PMM , PS

تلصق بسهولة كبيرة . بالمقابل فمادة ال Polyoléfines التي

تلصق بصعوبة تشكل مادة لاصقة ممتازة من اجل مواد مختلفة ( ورق ، المنيم ) .

في عملية الالصاق يستخدم محاليل مذيبة .

البلاستيك المتصلب حراريا ( TD ) بالرغم من كونه غير قابل للحام الا انه يمكن جمعه بواسطة الالصاق ، والجدول التالي يبين امكانية اللحام والالصاق للمواد البلاستيكية :

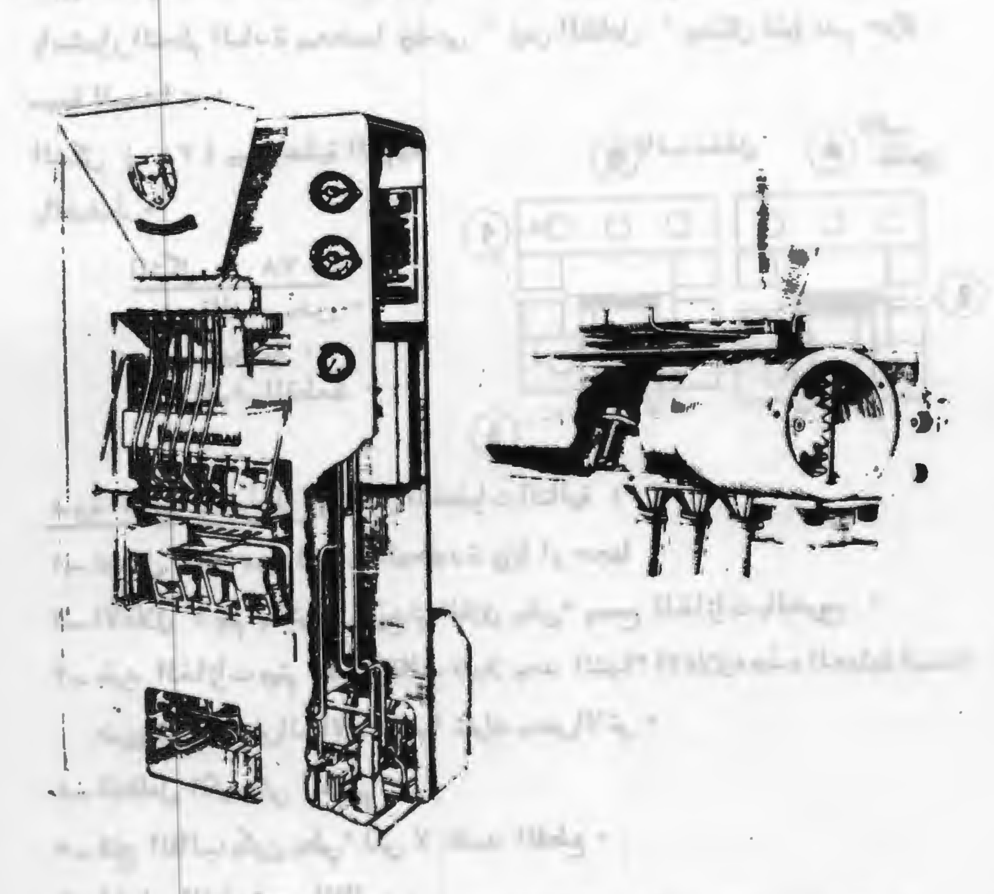
| المادة | اللحام | | | الالصاق |
|---|---|---|---|---|
| | حراري | تردد عالي | فوق صوتي | |
| PS | + | | + | + |
| ABS | + | — | + | + |
| PVC(R) | — | + | + | + |
| PVC(S) | — | + | — | — |
| PVD | + | — | | |
| PEbd | + | | — | — |
| PEhd | + | | — | — |
| PP | + | | + | |
| PMM | + | — | + | + |
| PTE | | + | + | |
| PC | + | | + | + |
| PPO | — | | — | + |
| POM | + | | + | |
| PA | + | — | + | + |
| PFE | — | | | |
| Cellulosiques | + | — | — | + |
| PSE | + | | | + |
| PU | + | — | | + |

## ثانيا : الطرق الأساسية المستخدمة لتصنيع البلاستيك المتصلب حراريا TD :

١ - التصنيع بالضغط Compression

٢ - التصنيع بالتحويل Transfert

٣ - التصنيع بالحقن Injection

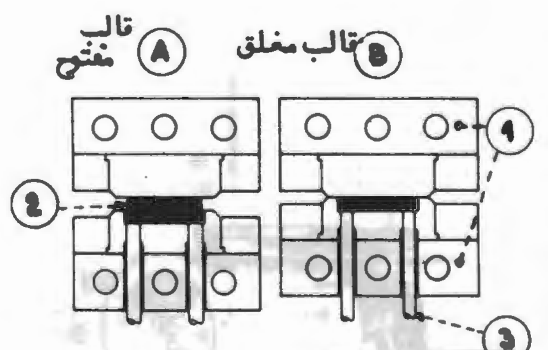


الشكل يبين آلة ضغط اتوماتيكية لتصنيع ( TD - بودرة ) ، ونلاحظ بين القمع والأقنية وجود اسطوانة افقية يدور بداخلها محور مصمت به فجوات قطرية موجهة بحجم قابل للمعايرة تستطيع بالدوران الاتصال مع القمع والأقنية حيث تجرى البودرة نحو طبعات القالب .

## ١– تصنيع البلاستيك المتصلب حراريا TD بالضغط : Compression

المبدأ : توضع المادة الاولية (البودرة) المحددة بالوزن او الحجم (قد تكون مسخنة مسبقا) في قالب ساخن مفتوح يتم اغلاقه بواسطة الة هيدروليكية بضغط يدعى " ضغط الاغلاق " • تحت تأثير الحرارة والضغط تتميع المادة وتأخذ شكل القالب تماما • من الضروري ترك المادة الزمن اللازم للتفاعل الكيميائي واستمرار التحلم المادة ببعضها ويدعى " زمن التفاعل " ويشكل فترة عدم حركة مهمة للمعدات •

الشكل ( ٧٨ ) يبين عملية القولبة بالضغط •




الشكل ( ٧٨ )
١– قالب مسخن •
٢– البودرة •
٣– قاذف للقطعة •

دورة القولبة بالضغط : وتتضمن الخطوات التالية :

١– تحميل يدوي من البودرة المحددة وزنا او حجما •

٢– الاغلاق : يتم باقتراب سريع ثم اغلاق بطيء يسمح للغازات بالخروج •

٣– طرد الغازات ويتم بفتح القالب قليلا بعد انتهاء الاغلاق، هذه العملية ليست ضرورية في بعض الحالات لانها تترك بعض الاثر •

٤– التفاعل الكيميائي اللازم •

٥– فتح القالب يكون بطيء لكي لا تفسد القطع •

٦– اخراج القطعة من القالب •

٧– تنظيف القالب بالهواء المضغوط من الزوائد وتهيئته من جديد للقولبة •

**شروط القولبة :**

١- كتلة المادة البلاستيكية :

كتلة المادة = ( حجم القطعة × الكتلة الحجمية للمادة ) + الفقد

الفقد يحسب تجريبيا لكل قالب ولكل دورة •

٢- ضغط القولبة :

$$\text{ضغط القولبة} = \frac{\text{القوة الكلية المطبقة على القالب}}{\text{سطح القولبة الكلي}}$$

سطح القولبة الكلي = سطح الطبعة الواحدة × عدد الطبعات

القوة الكلية = ضغط الزيت على المكبس × سطح رأس المكبس

تطبيق : المطلوب حساب القوة اللازمة للقولبة بالمعطيات التالية :

قطعة نموذج CEMP من :

ابعاد القطعة : ١١٫٥ × ١٢٫٥ سم : سطح القطعة = ١٤٤ سم٢

الضغط المنصوح به من قبل منتجي المادة = ٢٥٠٠ نيوتن / سم٢ •

القوة اللازمة = ٢٥٠٠ × ١٤٤ = ٣٦ × ١٠^٤ نيوتن •

على آلة بقوة ١٢٥ × ١٠^٤ نيوتن ، مع ضغط زيت ٢٥٠٠ نيوتن / سم٢

يجب تنظيم المانومتر للآلة على :

$$\frac{٢٥٠٠ \times ٣٦ \times ١٠^{٤}}{١٢٥ \times ١٠^{٤}} = ٧٢٠ \text{ نيوتن / سم}^{٢} = ٧٢ \text{ بار •}$$

من الممكن تحسين عملية القولبة بتخفيض زمن الدورة الانتاجية ويتم ذلك ، اما بانقاص زمن التفاعل بواسطة التسخين المسبق ، اى تسخين المادة البلاستيكية قبل دخولها القالب ، واما بجعل العمليات اتوماتيكية او بجمع الاثنين معا •

الجدول التالي رقم ( ١٧ ) يعطي شروط القولبة المختلفة للمواد المتصلبة حراريا •

الجدول رقم ( ١٧ )

شروط قولبة المواد البلاستيكية المتصلبة حراريا TD بالضغط

| المادة / الشروط اللازمة | Phénoplastes P21, P31, P11,P12 | Aminoplaste MF - MP | Polyesters | Polyépoxydes |
|---|---|---|---|---|
| درجة حرارة السطح المقولب م° | ١٨٠ـ١٥٠ | ١٧٥ـ١٥٠ | ١٥٠ـ١٢٠ | ١٦٥ـ١٦٠ |
| الضغط كغ/سم ٢ | ٤٠٠ـ٢٥٠ | ٥٠٠ـ١٥٠ | ١٥٠ـ٥٠ | ١٥٠ـ٢٠ |
| زمن التفاعل لكل مم من السماكة | ٤٠ـ٦٠ ثا | ٦٠ ثا | ٤٠ـ٦٠ ثا | ٩٠ ثا |
| تسخين مسبق (تردد عالي) | منصوح به | جيد | غير جيد | جيد |
| تجفيف قبل القولبة | ممكن | ممكن | غير منصوح به | ممكن |
| طرد الغازات | مفيد | مفيد | غير ضروري | غير ضروري |
| حالة سطح القالب | يفضل طلاءالكرم | مطلي بالكروم | مطلي بالكروم | مطلي بالكروم |

ملاحظات : ١ـ الشروط المذكورة بالجدول هي شروط عامة ، والمنتج للمادة الاولية يمكن ان ينصح بشروط اكثر دقة من الناحية العملية .

٢ـ عندما تكون السماكة اكثر من ١٠٠ م ، فينصح بزيادة الضغط ٥٠ـ١٠٠ كغ/سم ٢ .

٣ـ زمن التفاعل المبين بالجدول هو للمواد بدون تسخين مسبق ، عند استخدام التسخين المسبق خصوصا بطريقة التردد العالي فيقل الزمن المذكور بحدود ٢٥ـ٤٠ / .

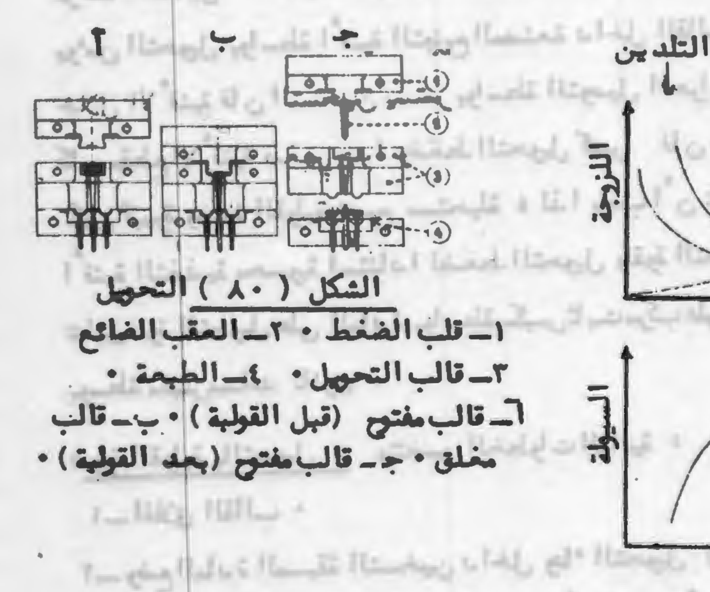
## ٢ - تصنيع البلاستيك المتصلب حراريا TD بالتحويل : Transfert

المبدأ : ترتكز هذه العملية على امرار المادة قبل دخولها القالب الساخن ضمن اسطوانة تدعى " غرفة التحويل " Chambre de transfert

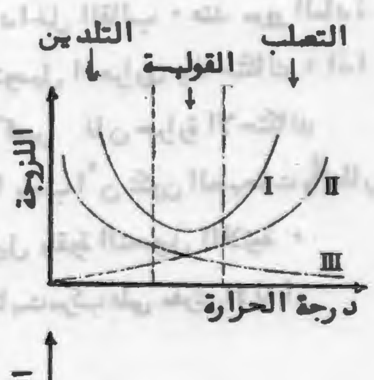
تسخن هذه الغرفة والقالب الى درجة حرارة ثابتة . بعد ذلك يطرد المكبس المادة داخل طبعة او طبعات القالب المغلق حيث تتصلب هناك .

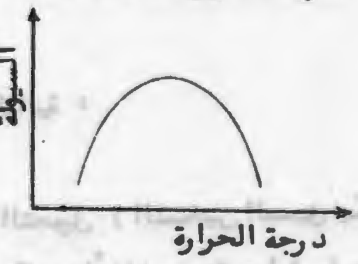
في البداية يجب ان تكون اللزوجة ضعيفة ويحدد النهاية الصغرى لمخطط اللزوجة المرفق ، الشكل ( ٧٩ ) ،ويتم ذلك بواسطة التسخين المسبق .
طريقة التسخين المسبق الاكثر استعمالا هي ( HF ) ( تسخين مسبق بتردد عالي ) .

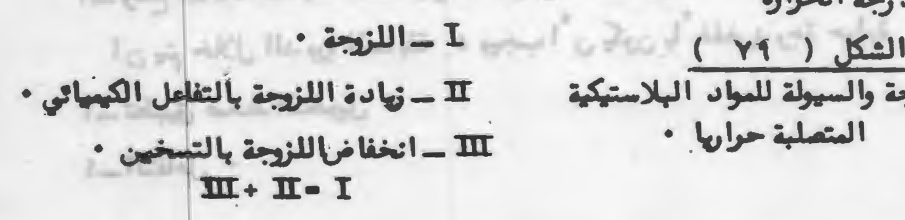
الشكل ( ٨٠ ) يبين مراحل العملية ويجب ملاحظة العقب ( Italon ) المتشكل والذى يعتبر كضياع من المادة بهذه العملية :




الشكل ( ٨٠ ) التحويل
١- قلب الضغط . ٢- العقب الضائع
٣- قالب التحويل . ٤- الطبعة .
أ- قالب مفتوح (قبل القولبة) . ب- قالب مغلق . ج- قالب مفتوح (بعد القولبة) .



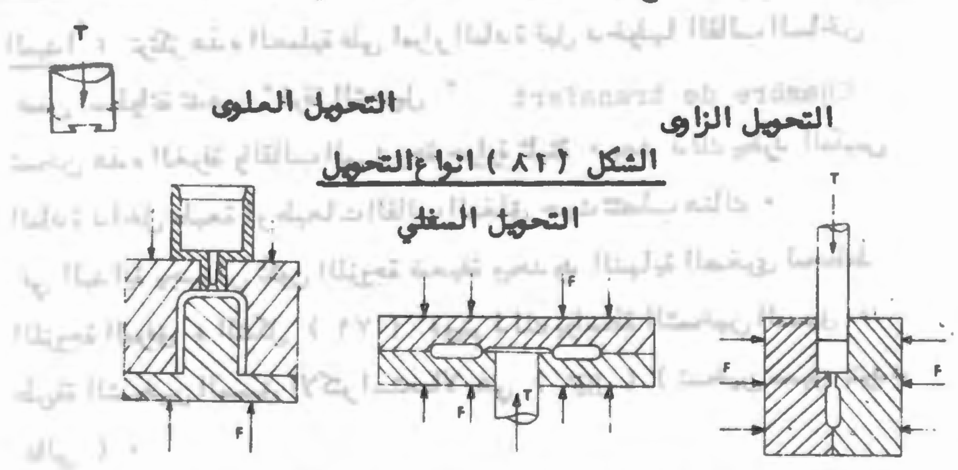



الشكل ( ٧٩ )
اللزوجة والسيولة للمواد البلاستيكية المتصلبة حراريا .

I - اللزوجة .
II - زيادة اللزوجة بالتفاعل الكيميائي .
III - انخفاض اللزوجة بالتسخين .
III + II = I

هناك آلات وقوالب تسمح بالتحويل العلوى او السفلي او الزاوى الشكل ( ٨١ ) ٠




الشكل ( ٨٢ ) انواع التحويل

هذه التقنية تعتبر وسطا بين القولبة بالضغط والقولبة بالحقن ولا تستخدم فيها مرحلة التلدين Plastification ٠

يؤمن التحويل بواسطة أقنية التوزيع المصنعة داخل القالب ٠ عند مرور المادة خلال الأقنية فان التسخين يستمر بواسطة التوصيل الحرارى والاحتكاك ٠ اذا كان مقطع الأقنية صغير جدا وضغط التحويل كبير فان حرارة الاحتكاك تكون كبيرة وعملية القولبة تصبح مستحيلة ، لذا يجب أن تكون الطبعات وأقطار أقنية التغذية محسوبة استنادا لضغط التحويل ولقوة التحويل اللازمة ٠ تطبق قوة التحويل على المادة بواسطة مكبس ثابت مركب على مفرش الالة او بوسطة مكبس مساعد ثانوى ٠

دورة القولبة بالتحويل : وتتضمن الخطوات التالية :

١ـ اغلاق القالب ٠

٢ـ وضع المادة المسبقة التسخين داخل وعاء التحويل ( التسخين المسبق يمكن ان يتم خلال الدورة السابقة ، ويجب أن يكون بأخفض درجة حرارة ) ٠

٣ـ تطبيق ضغط التحويل ٠

٤ـ التفاعل ٠

٥ـ فتح القالب ٠

٦ـ اخراج القطعة من القالب ٠

٧ـ تنظيف القالب (هام) وتهيئته من جديد للقولبة ٠

## شروط القولبة :

١ـ ضغط التحويل : وفقا ل J. BUTLER المادة ذات التسخين المسبق الجيد في لحظة تحولها تشابه عمليا مائع ويجب تطبيق مبدأ باسكال Pascal على تحول الضغوط ٠

بعض التجارب بينت ان الضياع بالمادة البلاستيكية الناتج داخل أقنية التغذية يخفض الضغط داخل الطبعات حوالي الثلث من ضغط التحويل ٠

٢ـ السطح الكلي المقولب : بفرض أن :

$S_1$ : سطح وعاء التحويل ٠

$S_2$ : سطح مكبس الاغلاق ٠

$S_3$ : السطح الكلي ( الطبعات + الأقنية ) ٠

$S_4$ : سطح مكبس التحويل ٠

$P_1$ : ضغط الزيت على مكبس الاغلاق ٠

$P_2$ : ضغط الزيت على مكبس التحويل ٠

فيكون :

$P_1 S_1$ = قوة الآلة ٠

$\frac{P_1 S_2}{S_1}$ = ضغط التحويل ( حالة القولبة على الة الضغط ) ٠

$P_2 S_4$ = قوة التحويل ٠

$\frac{P_2 S_4}{S_1}$ = ضغط التحويل ( حالة القولبة على الة تحويل بمكبسين ) ٠

اولا : حالة القولبة على الة ضغط :

$$P_1 S_2 (1 - 0{,}1) = \frac{P_1 S_2}{S_1}$$

$$S_1 (1 - 0{,}1) = S_3$$

حيث : $0{,}1$ : عامل الأمان .

ثانيا : حالة القولبة على الة تحويل بمكبســــن :

$$P_1 S_2 (1 - 0{,}1) = \frac{P_2 S_4}{S_1} S_3$$

$$\frac{P_1 S_2}{P_2 S_4 / S_1} (1 - 0{,}1) = S_3$$

٣ـ الشروط العامة : الجدول رقم ( ١٨ ) يبين شروط قولبة المواد البلاستيكية المتصلبة حراريا بالتحويل .

يتم تحسين مردود عملية القولبة بالتحويل بجعلها اتوماتيكية .

| شـــروط القولبـة بالتحويـــل | |
|---|---|
| المــــادة | الشــــروط |
| Phénoplastes. | الضغـط : 60 - 80 MPa |
| Aminoplastes :<br>- Urée formol. | غير مستحسن استعماله لهذه الطريقة |
| -Mélamine formol.<br>-Mélamine phénol formol. | الضغط : 100 - 200 MPa<br>القولبـة بالتحويل صعبـة |
| Polyester. | احتمال تمزق الألياف الزجاجيـة |
| Polyépoxydes. | الضغط : 2 - 80 MPa |

الجدول رقـم ( ١٨ )

### ٣ _ تصنيع البلاستيك المتصلب حراريا TD بالحقن : Injection

**المبدأ :** عملية القولبة بالحقن للمواد المتصلبة حراريا TD مشابهة وقريبة العملية المستخدمة لحقن مواد البلاستيك الحرارى TP ٠ الاختلاف ناتج فقط عن خاصية التصلب الحرارى ٠

العملية لم تكن مستعملة الا بعد ظهور الات ذات لولب ٠ القوالب تكون ساخنة ٠ هناك مجموعة للتلدين الحرارى Plastification ( لولب + غلاف ) ، وظاهرة الاحتكاك بها مهمة ٠

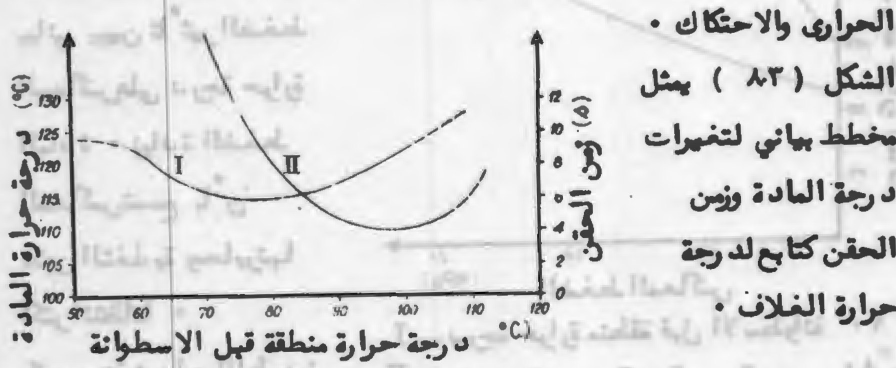
الشكل ( ٨٢ ) يبين الة حقن ذات لولب ٠

مارا بناء في بحث عملية التحويل بالنسبة لسير المادة داخل الاقنية ، وضغط التحويل وتطبيق مبدأ باسكال وكذلك بالنسبة للسطح الكلي للقولبة مع مكبس اضافي ، قابل للتطبيق في حالة القولبة بالحقن ٠

**شروط القولبة :**

١ _ درجة حرارة اسطوانة التلدين : عند التلدين داخل مجموعة (الولب + غلاف ) فان ارتفاع درجة الحرارة ينتج عن كمية الحرارة المتكونة بالتوصيل الحرارى والاحتكاك ٠

الشكل ( ٨٣ ) يمثل مخطط بياني لتغيرات درجة المادة وزمن الحقن كتابع لدرجة حرارة الغلاف ٠




I _ درجة حرارة المادة ٠

II _ زمن الحقن ٠

الشكل ( ٨٣ )

الحرارة المكتسبة بالتوصيل الحراري هامة ، فعندما تكون درجة حرارة الغلاف ضعيفة تبقى المادة قابلة للتفكك ، الاحتكاك ضعيف جدا ، عملية القولبة مستحيلة . اذا رفعت درجة حرارة الغلاف فانها تصل لنقطة تكون بها المادة لينة كثيرا حيث يتولد احتكاك هام . يمكن لدرجة حرارة الكتلة ان ترتفع بسرعة فتعطل العملية الكيميائية وتصبح القولبة مستحيلة ( هذا عكس الفكرة الرائجة حاليا ، كل انخفاض بدرجة الحرارة للاسطوانة سيكون له تأثير سالب ) .

الموازنة بين حرارة التوصيل وحرارة الاحتكاك تتغير من مادة الى اخرى كتابع للسيولة Fluidité وقابلية رد فعل المادة على حرارة التلدين . السيولة المنخفضة او قابلية رد الفعل الكبير جدا تؤدي الى تصلب سابق لأوانه للمادة داخل انبوب اسطوانة التلدين .

٢ — الضغط المعاكس : هو الضغط الذي يفرمل تراجع اللولب خلال مرحلة التلدين والتغذية . زيادة الضغط المعاكس تطابق زمن اطول لتراجع اللولب ، حرارة الاحتكاك اكبر .

الشكل ( ٨٤ ) يمثل مخطط بياني يبين تأثير الضغط المعاكس على درجة حرارة المادة . زيادة الضغط المعاكس تسمح بأن تكون التغذية ومعايرتها اكثر انتظاما .



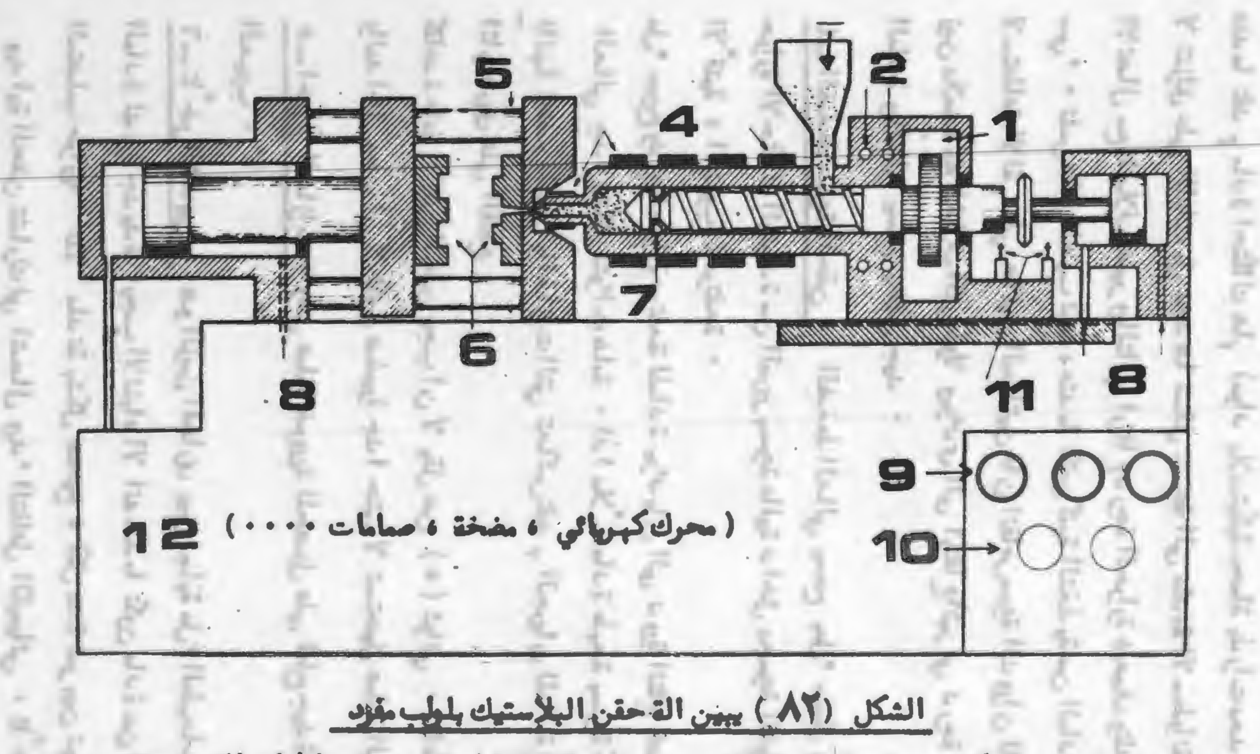

I — درجة حرارة منطقة قبل الاسطوانة ٩٠°م

II — " " " " " ٨٠°م

الشكل ( ٨٤ )

٣ — سرعة دوران اللولب :

زيادة سرعة دوران اللولب تزيد عمل الاحتكاك وتقلل زمن التغذية وكذلك زمن تلامس المادة مع الجدار الساخن للغلاف تنقص بنفس الكمية .




الشكل (٨٢) يبين الة حقن البلاستيك بلولب مفرد

١ـ محرك هيدروليكي ٢ـ اقنية ماء التبريد ٣ـ قمع التغذية ٤ـ اطواق التسخين ٥ـ قضيب للربط
٦ـ القالب ٧ـ صلم منع الجريان المعاكس ٨ـ انابيب جريان المائع
٩ـ منظم درجات الحرارة ١٠ـ موقت زمني ١١ـ منظم اللولب المتحرك ١٢ـ مخزن زيت .

عندما تقدم مادة احتكاك هام (مواد بلاستيكية محملة بذرات معدنية ) فهي لا تنزلق على اللولب بل نجدها تنتقل بسرعة الى مقدمة الاسطوانة فيكون زمن الاتصال مع الغلاف قصير وبالتالي ارتفاع درجة الحرارة ضعيف وتلدين المادة سيء • نفس هذا العيب نجده عندما تكون كمية التغذية من المادة قليلة بالنسبة لاستطاعة الالة • في هاتين الحالتين فان انقاص سرعة الدوران للولب يؤمن زمن ملامسة مع الغلاف اكثر طولا ويؤدى الى ارتفاع اكبر في درجة حرارة المادة وبالتالي يسمح بحقن جيد •

٤ــ <u>الضغط وسرعة الحقن</u> : الضغط العالي يسمح بملء سهل وسريع • حرارة الاحتكاك المتولدة من المرور بسرعة عالية داخل مجموعة التوزيع (المداخل ، الأقنية ، الانبوب ) مرتفعة •
ملء سريع ودرجة حرارة مرتفعة للمادة يؤديان الى دورة انتاج قصيرة • الضغط العالي جدا يشكل نتوءات هامة • اذا ملأت مادة طبعة بسرعة كبيرة جدا فانها تحصر الهواء والغازات التي تعاكس تقدم الجريان للمادة فيتشكل بالنتيجة اثار حروق على القطع •
كقاعدة عامة : زمن الحقن يجب ان لا يقل عن (٥) ثواني • مقاطع الأقنية والمداخل يجب ان لا تكون صغيرة جدا حتى لا تستحيل عملية الحقن •

٥ــ <u>اخراج الغازات</u> : وهي عملية ضرورية للحصول على قطع جيدة خالية من العيوب •

٦ــ <u>تأخر التلدين</u> : هو الزمن الجارى بين نهاية ملء الطبعات وبداية تحضير المادة لدورة جديدة • يجب الانتباه الا انه عندما تكون مادة من البلاستيك المتصلب حراريا TD ملدنة بشكل صحيح ، فكل مدة تمر بين نهاية التلدين وبداية الحقن تشارك في اشعال وبدء التفاعل الكيميائي • تأخر التلدين يجب ان يكون منظم بحيث ان دوران اللولب ينتهي بلحظة فتح القالب •

٧- زمن تلامس انبوب الاسطوانة وانبوب القالب : هذا الزمن يجب ان يكون قصيرما أمكن لان درجة حرارة انبوب الاسطوانة ترتفع بملامسة القالب وهذا الارتفاع غير مفيد لانه يسبب تفاعل البلمرة السابق لاوانه ( اتحاد الجزيئات المتعددة من مركب لتشكيل مركب وزنه الجزيئي اكبر ) ، وبتنظيم جيد لحرارة الانابيب جانب الاسطوانة والقالب ( بواسطة جريان سائل ) نحصل على درجة حرارة مرتفعة للمادة مع تجنب حدوث التفاعل المذكور .
اذا لم يكن انبوب الاسطوانة ملامسا للقالب بتأثير الضغط المعاكس ، فان المادة يمكن ان تهرب من الاسطوانة خلال التلدين . بالدورة العادية يكون الانبوبين مفصولين عن بعضهما لحظة فتح القالب .

٨- زمن المحافظة على الضغط : هو الزمن الذي يستمر فيه تطبيق ضغط الحقن بعد ملء الطبعات . اذا كان هذا الزمن قصيرا كثيرا فالتفاعل لا يتم بشكل جيد .

٩- الشروط العامة : الجدول رقم ( ١٩ ) يبين شروط قولبة المواد البلاستيكية المتصلبة حراريا TD بالحقن .

وسائل تحسين العمليـة :

١ - تعديل الضغط المعاكس بحيث يكون كتابع للتغيـر في أزمنـة تلامس المادة مع الغلاف ، درجة حرارة الكتلة المحقونـة ويكون أكثر ارتفاعا في البداية منه في نهاية الحقـن .
في العديد من الآلات من الممكن الحصـول على درجة حرارة اكثر تجانسا للمادة من خلال تعديل الضغط المعاكس خلال التلديـن .
في هذه الحالة ، زمن الدورة يقل وتكون نوعية المنتجات أفضـل .

٢ - تعديل كمية التغذية بحيث تكون تابع للتوازن الجيد لشروط التلدين

وكذلك لخواص المادة . من الممكن تعديل الكمية من خلال مشوار اللولب ( استنادا لقياس الضغط ) .

٣ ـ أقنية باردة : بسبب كون التفاعل الكيميائي غير عكوس في المواد البلاستيكية المتصلبة حراريا TD ، فالضياع بالمادة ضمن الانبوب والأقنية ( البقايا ) والبالغ بحدود 10% لا يمكن استرجاعه لذا يلجأ الى استعمال القوالب بأقنية باردة لانقاص الضياع بنسبة تصل الى 60 % .

==================
================
==========
======

الجدول رقم ( ١٩ )

| شروط قولبة المواد البلاستيكية المتصلبة حراريا TD / بالحقن | | | | |
|---|---|---|---|---|
| المادة<br>الشروط اللازمة | Phénoplastes | Aminoplastes MPF | Polyesters | Polyépoxydes |
| درجة حرارة القالب °م | ١٩٠_١٧٠ | ١٩٠_١٧٠ | ١٧٠_١٥٠ | ١٦٥_١٦٠ |
| درجة حرارة الانبوب °م | ١٠٠ | ١١٠ | ٩٠ | ٨٠ |
| درجة حرارة مقدمة الغلاف °م | ١٠٠ _ ٨٠ | ١١٠ _ ٨٥ | ٧٠ _ ٤٠ | ٧٠ _ ٦٠ |
| درجة حرارة خلف الغلاف °م | ٧٥ _ ٥٥ | ٨٥ _ ٧٠ | ٤٠ _ ٢٠ | ٦٠ _ ٥٠ |
| درجة حرارة المادة الخارجة من الانبوب °م | ١٣٠_١١٠ | ١٣٠_١٢٠ | ٩٠ _ ٧٠ | ٨٠ _ ٧٠ |
| سرعة دوران اللولب دورة /دقيقة | ١٠٠ _ ٥٠ | ١٠٠ _ ٥٠ | ١٠٠ _ ٥٠ | ١٠٠ _ ٥٠ |
| الضغط المعاكس كغ/سم ٢ | ١٠ _ ٠ | ١٠ _ ٠ | ١٠ _ ٠ | ١٠ _ ٠ |
| ضغط الحقن على المادة كغ/سم ٢ | ٢٠٠٠_١٤٠٠ | ٢٠٠٠_١٤٠٠ | ١٠٠٠_٥٠٠ | ١٠٠٠_٥٠٠ |
| الضغط المحافظ عليه ثابت | يساوي الى ثلثي ( ٣/٢ ) ضغط الحقن | | | |
| سرعة الحقن | وتنظم بحيث يكون زمن ملء القالب يساوي ٦ـ٨ ثانية | | | |
| زمن المحافظة على الضغط /ثانية / | ١ـ٥ | ١ـ٥ | ١ـ٥ | ١ـ٥ |
| زمن التفاعل ثا /لكل م م سماكة | ٧ـ٨ | ٨ـ١٠ | ٧ـ٨ | ٨ـ١٠ |
| تأخير تدوير اللولب | ينظم بحيث ينتهي التلدين تماما مع نهاية التفاعل للدورة السابقة | | | |

ملاحظة : الشروط المذكورة بالجدول هي شروط عامة ، والمنتج للمادة الاولية يمكن ان ينصح بشروط اكثر دقة من الناحية العملية وتبعا للمادة .

## اختيار طريقـــــة القولبـــــة

من أجل انتاج معين ، ومن أجل نموذج ما لقالب هناك آلة مثالية تعطي الانتاج الأمثل . في الحقيقة ان اختيار طريقة القولبة والآلة يعتمد على خواص المادة ، مواصفات القطعة ، المتوفر من المعدات والمعطيات الاقتصادية .

آ ـ المعطيات الاقتصادية :

ان حساب سعر كلفة القطعة ( $P$ ) يجب ان يأخذ بعين الاعتبار العناصر التالية :

١ـ سعر المادة : ( $P_1$ ) :

$P_1$ = سعر الشراء للمادة × وزن المادة المصنعة $(1 - K_1)$ حيث:

$K_1$ = عامل يأخذ بعين الاعتبار الضياعات بواسطة النقل والتخزين ٣ ـ ٥ ٪ وتنظيف الالة ٠،٣ ـ ٠،٥ ٪ من الكتلة لـ ١٠٠ قطعة .

٢ ـ تكاليف الصنع : ( $P_2$ ) :

$$P_2 = \frac{\text{سعر الساعة على الالة}}{\text{عدد القطع المنتجة بالساعة}}$$

بعد حساب زمن الدورة ولحساب الأنتاج الساعي ، يجب التذكر أن آلة نصف اتوماتيكية لا تعمل سوى ٨٠ ٪ من طاقتها .

$$P_2 = P_{2,1} + P_{2,2} + P_{2,3} + P_{2,4} + P_{2,5}$$

$P_{2,1}$ استهلاك الالة ( ٥ ـ ١٠ سنوات ) .

$P_{2,2}$ صيانة الالة ( ٥ ٪ من سعرها ) والاهتراء السريع لبعض القطع يدخل في هذا البند مثل اهتراء لولب الحقن .

$P_{2,3}$ الاستهلاك الساعي من الكهرباء والزيت .

$P_{2,4}$ الأجر الساعي للعامل ( آلة نصف اتوماتيكية تحتاج لعامل واحد ولكن هذا العامل يكفي لـ ٤ ـ ٦ آلات اتوماتيكية ) .

$P_{2,5}$ الأجر الساعي للعاملين بالورشة .

٣ ـ استهلاك القوالب ( $P_3$ ) : Amortissement du moule

$$P_3 = \frac{\text{سعر القطعة}}{\text{عدد القطع المنتجة}}$$

٤ ـ مصاريف الانهاء : ( $P_4$ ) : تنظيف القطع ، التغليف ........

٥ ـ مصاريف مختلفة : ( $P_5$ ) : تسخين مسبق ، مراقبة .........

ومنه :

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5$$

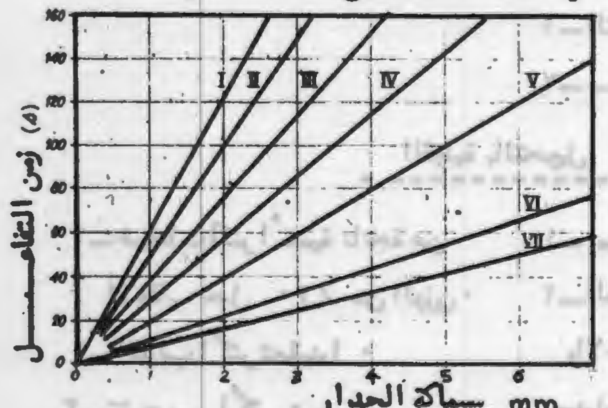
والسعر العائد الحقيقي : $P_r = P.K$

حيث :

K : عامل يأخذ بعين الاعتبار التلف والسقوط من الانتاج ويكون حوالي ٢ ـ ٣ ٪ ويمكن ان يصل الى ٣٠ ـ ٤٠ ٪ اذا كانت القطع صعبة الانتاج .

ب ـ زمن التفاعل الضروري تبعا لطرق القولبة :

الشكل ( ٨٥ ) يبين مخطط بياني لزمن التفاعل كتابع لسماكة جدار القطعة ولطريقة القولبة وذلك لمادة الفينولاست .




الشكل ( ٨٥ )

I ـ ضغط بسيط بدون تسخين مسبق .

II ـ ضغط بسيط ، تسخين مسبق بمحم تجفيف .

III ـ ضغط بسيط ، تسخين مسبق بالتحريض (تردد عالي ) .

IV ـ ضغط بسيط ، تلدين مسبق ضمن غلاف + لولب .

V ـ تحويـــل ، تسخين مسبق بالتحريض ( تردد عالي ) .

VI ـ تحويـــل ، تلدين مسبق ضمن غلاف + لولب .

VII ـ حقـــن ، تلدين مسبق ضمن غلاف + لولب .

## جـ ـ مقارنة الطرق الثلاثة للقولبة :

نورد فيما يلي ميزات ومساوئ كل من الطرق الثلاثة للقولبة ، وهذا يساعدنا على اختيار أفضل طريقة تناسب المعطيات المطلوبة .

### القولبة بالضغط

| المساوئ | الميزات |
|---|---|
| ١ـ زمن الدورة هو الأكثر طولا . | ١ـ معدات أكثر بساطة . |
| ٢ـ ضرورة المعايرة لكل طبعة . | ٢ـ امكانية قولبة قطع كبيرة بطريق مختصرة |
| ٣ـ القالب يتطلب غرفة ضغط . | ٣ـ ضغط ضعيف نسبيا حيث يمكن ان يكون عدد الطبعات اكثر من الطرق الاخرى . |
| ٤ـ صعوبة القولبة للقطع ذات السماكات المتغيرة كثيرا . | ٤ـ الضياع بالمادة ضعيف لعدم وجود اعقاب بل هناك نتوءات اكثر . |
| ٥ـ صعوبة قولبة قطع ذات حلقات او قضبان ناعمة . | ٥ـ تقلص ( Retrait ) ضعيف . |
| ٦ـ عملية ازالة الزوائد هامة . | ٦ـ التشوهات قليلة الحدة . |
| | ٧ـ سعر الآلات أقل . |

### القولبة بالتحويل

| المساوئ | الميزات |
|---|---|
| ١ـ ضياعات أكثر أهمية ناتجة عن الاعقاب تصل ٢٠ ٪ من الوزن . | ١ـ معايرة واحدة للمادة المقولبة . |
| ٢ـ القالب أكثر تعقيدا . | ٢ـ المادة تكتسب حرارة بالتوصيل والاحتكاك خلال مرورها بالاقنية ومداخل التحويل . تجانس حراري جيد . وبالنتيجة : |
| ٣ـ تشوه مهم أكثر . | ـ امكانية قولبة قطع ذات سماكات متغيرة جدا . |
| ٤ـ تقلص ( Retrait ) اكثر اهمية . | |
| ٥ـ ضرورة تطبيق ضغط اعلى . | |

| المساوىء | الميزات |
| --- | --- |
| ٦ـ انحدار القيم الميكانيكية في حالة المادة المسلحة بالألياف بسبب تمزق هذه الألياف خلال مرورها بالاقنية والمداخل • | ـ زمن التفاعل اكثر قصرا • <br> ـ تحسين التفاعل الذى يؤدى الى تحسن الخواص الميكانيكية باستثناء البلاستيك المسلح بالالياف الزجاجية ؛ <br> ـ تناقص خطر تمزق القضبان او الحلقات • <br> ٣ـ القالب مغلق قبل دخول المادة • كمية المادة لا تعتمد على الاغلاق • |

## القولبـة بالحقـــــــــــــن

| المساوىء | الميزات |
| --- | --- |
| ١ـ اهتراء هام للولب، لغلاف التلدين ولمداخل القوالب • <br> ٢ـ خطر تشوه كبير بالتبريد للقطع عند مداخل الحقـــــــن • <br> ٣ـ صعوبة القولبة مع التضمين • <br> ٤ـ صعوبة قولبة المواد البلاستيكية المسلحة بالالياف الزجاجية • لان المواد تفقد كافة خواصها الميكانيكية عند نزولها من القمع • <br> ٥ـ ضياع هام ناتج عن الاعقاب • | ١ـ امكانية الاتمتة الكلية • <br> ٢ـ قولبة مباشرة ابتداء من البودرة • <br> ٣ـ المادة تكتسب حرارة بالتوصيل والاحتكاك خلال مرورها بالاسطوانة والاقنية والمداخل • حيث لا يوجد عمل يدوى ، فلا ضياع بالزمن بين نهاية التلدين والحقن • من الممكن القيام بتسخين مسبق للمادة لدرجة حرارة اكثر ارتفاعا من حالة القولبة بالتحويل وبالتالي يكون زمن التفاعل قصيرا جدا • |

## الفصـــل الثانـــي :

### طرق خاصة لتصنيع وانتاج البلاستيك المسلح مع تطبيقات

في الحقيقة ان هذا البحث المتعلق بتصنيع البلاستيك المسلح هام بالنسبة لهندسة البلاستيك . الالمام بكل جوانبه بشكل كامل يحتاج بالتأكيد الى كتاب خاص ، لذا فاننا سنبين فقط مايساعدنا على استيعاب الأسس والقواعد العامة لهذا الموضوع . كما نود الاشارة الى أن الحسابات التي تتعلق بالناحية الميكانيكية ( خاصة مايتعلق بمقاومة المواد : الاجهادات، الانفعالات ..... ) لهذه المواد المركبة ( مادة بلاستيكية + مادة تسليح بطبقة واحدة أو عدة طبقات أو بشكل متناثر ) ذات مستوى رفيع وهـــام ونأمل أن نتمكن من اصدار ملحق خاص لهذا الكتاب يتضمن النقاط ذات الأساس النظري والنتائج التجريبية التي تم التوصل اليها والتي تمكننـــا من القيام بهذه الحسابات في الحالات المختلفـة .

المواد البلاستيكية المسلحة وهي المواد البلاستيكية التي تتضمن مواد أخرى الغاية منها تحسين الخواص بصورة عامة بما يلائم المطلوب . مواد التسليح كثيرة ومتعددة والجدول رقم ( ٢٠ ) في الصفحة القادمة يبين أهـــم أنواعها مع خواصها الميكانيكيــة ( الفولاذ يستعمل قليلا مع البلاستيك ويستعمل كعنصر مقارنة يسمح بالحكم على فوائد مواد التسليح من حيـــث الخواص الميكانيكيــة النوعية ـ استنادا للكتلة الحجميــة ) .

سنقتصر بدراستنا على مواد التسليح الزجاجية لأهميتها البالغة ولكثــرة تطبيقاتها في الصناعات البلاستيكية بسبب خواصها الجيدة وسعرها المنخفض،

الجـــــدول ( ٢٠ )

| مواد التسليح | الكتلة الحجمية Masse Volumique ($\rho$) g/cm$^3$ | مقاومة انهيار الشد Résistance à rupture traction $\sigma_R$ daN/mm$^2$ | $\sigma_R/\rho$ | التمدد حتى الانهيار % | معامل المرونة Module d'Young E daN/mm$^2$ | معامل المرونة النوعي Module d'Young spécifique E/$\rho$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Carbone كربون | 1,74 | 210 | 121 | | 20000 | 11490 |
| Graphite غرافيت | | | | | | |
| - H.R عالي المقاومة | 1,77 | 280 | 158 | 1,0 | 27000 | 15250 |
| - H.M عالي المعامل | 1,94 | 210 | 108 | 0,5 | 40000 | 20618 |
| Bore بور | 2,6 | 350 | 135 | 0,8 | 40000 | 15384 |
| Verre زجاج | | | | | | |
| E | 2,55 | 220 | 86 | 2,5 | 7800 | 3058 |
| S(H.R) عالي المقاومة | 2,55 | 350 | 137 | 3,2 | 7500 | 2942 |
| Acier الفولاذ سلك شد | 7,75 | 350 | 45 | | 21000 | 2710 |

ولن نتعرض لمواد التسليح الأخرى ذات الطبيعة المختلفة والمستعملة أحيانا كالكربون الذى يستعمل بحالات خاصة جدا حيث السعر لا يلعب دورا أساسيا .

تتألف المادة البلاستيكية المسلحة من مادة التسليح والأساس البلاستيكي :

١ - مادة التسليح : المقاومة الميكانيكية الكبيرة بالاضافة الى خواص اخرى جيدة تجعل الألياف الزجاجية مادة التسليح الأولى والأكثر فعالية والأرخص ثمنا . وتتألف بمعظم الأحيان من ألياف تحت أشكال مختلفة وكل منها يتناسب مع نوع من البوليمير ، من هذه الأشكال : Roving ، Mat ، Fils coupés ( خيوط مقطعة ) ، Tissus ( نسيج ) على عدة أشكال ، والشكل ( ٨٦ ) يبين هذه الأنواع المختلفة .

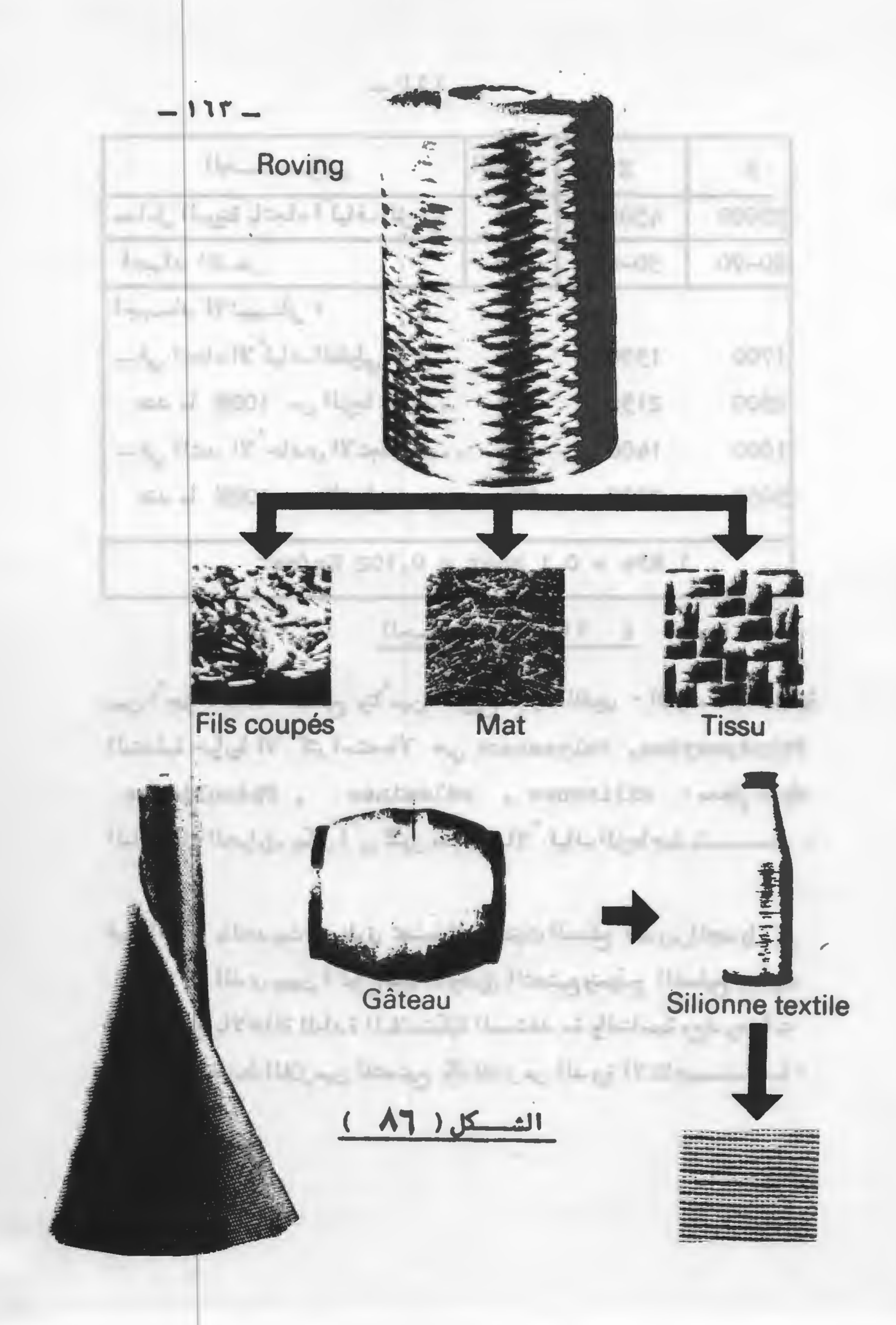
هذا الزجاج المخصص لصنع الخيوط والشعيرات الزجاجية يصنع من مركبات خاصة ، وصناعيا له عدة أنواع : E ، A ، C ، R .

الزجاج R : ورمزه (V.R) (في الولايات المتحدة يرمز له V.S ) وهو Aluminosilicate ويستخدم في الصناعة لبعض الحالات التي تتطلب مردود عالي .

الزجاج E : ورمزه (V.E) وهو الأكثر استعمالا وشيوعا وخصوصا Borosilicate . المواد الأولية الضرورية لانتاج هذا الزجاج : الكلس Chaux ، رمل الصوان Silice ، أكسيد الألمنيوم Alumine ، وصلصال أبيض Kaolin .... الخ .

الجدول رقم ( ٢١ ) يعطينا خواص كل من V.E و V.R ومقارنة بينهما .

٢ - الأساس البلاستيكي : وهو ريزين متصلب حراريا TD مهمته الوصل




الشكل ( ٨٦ )

| الخـــــواص | الواحدة | E | R |
|---|---|---|---|
| معامل المرونة باتجاه أ لياف الزجاج | MPa | 45000 | 53000 |
| اجهاد القـص | MPa | 50-60 | 60-70 |
| اجهـــاد الانهيـــار : | | | |
| - في اتجاه الأ لياف الطولي .... | MPa | 1350 | 1700 |
| عند ما 100% من الزجاج ... | MPa | 2150 | 2800 |
| - في الشد الأ حادى الاتجاه ... | MPa | 1400 | 1800 |
| عند ما 100% من الزجاج ..... | MPa | .2300 | 3050 |
| $1 \text{ MPa} = 0{,}1 \text{ hbar} = 0{,}102 \text{ Kg/mm}^2$ | | | |

الجـــــدول ( ٢١ )

بين أ جزاء مادة التسليح وتأ مين التوزيع الجيد للقوى . المواد البلاستيكية المتصلبة حراريا الأ كثر استعمالا هي: Polyépoxydes, Polyester, Phénoliques , mélamines , silicones . معظم مــواد البلاستيك الحرارى يمكن أ ن تكون مسلحة بالأ لياف الزجاجية مثـــــل :

قبل البدء بالحديث عن طرق تصنيع البلاستيك المسلح لندرس الجدول رقم ( ٢٢ ) الذى يبين أ نواع عمليات وطرق التصنيع ونموذج التسليح ونسبته المئويـــة ، بالاضافة للمادة البلاستيكية المستخدمة والمناسبة مع درجــات الحرارة والضغط اللازمين للتصنيع وكذلك زمن الدورة الانتاجيـــــة .

الجـــــدول رقـم ( ٢٢ )

| عملية القولبـــة | و نموذ ج التسليح | الريزين | الضغط bar(1) | درجة الحرارة °C | زمـن دورة الانتا ج |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| بالتلا مس | Mat<br>Tissu | Polyester<br>Epoxydes | 0 | 20-50 | 30min-24h |
| على آلة مع Mat | Mat | Polyester<br>EP , PF ,<br>SI , MF | 7-200 | 100-180 | 1-10min |
| على آلة مع تعشيق | Mat<br>Tissu | Polyester<br>EP , PF ,<br>SI , MF , | 7-200 | 100-180 | 1-30min |
| بالقوة الطاردة المركزية | F.coupé | Polyester | 1-3 | 80-100 | 10-20min |
| بالتغطيس | Mat<br>Tissu<br>F.continus | Polyester<br>Epoxydes | | 80-110 | 1-2 m/min |
| باللف الخيطي | F.continus<br>Ruban tissu | Polyester<br>Epoxydes | | 20-70 | 5-200 Kg/h |
| بالضغط | F.coupés | Polyester<br>Epoxydes | 20-350 | 120-180 | 0,5-5min |

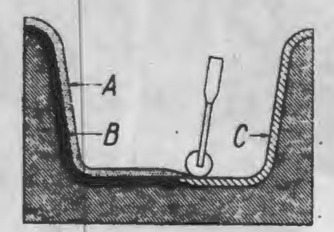
(1): 1 bar = $10^5$ Pa

## طـــرق تصنيع البلاستيك المسـلح

**١ ـ القولبة بالتلامس : Moulage au contact : الشكل ( ٨٧ ) :**

كانت هذه الطريقة هي الأولى التي استعملت لقولبة ال Polyester
المسلح ، وهي التي سهلت وعمقت مفهوم انتاج البلاستيك المســلح .
ترتكز هذه الطريقة ببساطة على وضع طبقات متتالية من مادة الزجاج التي
تكون على أشكال مختلفة ( Tissu , Mat , Ruban ...)
داخل قالب وتعشق أولا بأول بمقدار معين من ريزين متصلب حراريا TD .
هذه الطريقة تستعمل بنجاح لأجل انتاج قطع من كل الأبعاد والحجـوم
تبدأ بقطع المعدات الكهربائية وتصل الى المسابح الكاملة ، الشكل ( ٨٨ ) ،
والقوارب بمختلف القياسات والأغطية والتماثيل ...... وليس هناك مـن
تحديدات لا على الحجم ولا على صعوبة وتعقيد الشكل المنتج .
عملية القولبة بالتلامس تحتاج مع ذلك الى تهيئة شكل للقطعة المنتجة ( من
الجص أو الخشب .... مثلا ) أو عند الاقتضاء من الحديد أو الفولاذ
المشكل . ويجب أن يتم تهيئة النموذج بعناية فائقة ونعومة كبيـــرة
ومدروس بحيث يكون سهل الانتاج ، هذا ويمكن صناعة القالب من البلاستيك
المسلح والمزود بالخشب في بعض الأماكن للتقوية كما يمكن أن يكون بقطعة
واحدة أو متعدد القطع . بعد اخراج القطعة من القالب يتم ازالـــة
الزوائد والعيوب بواسطة الورق الخشن الرطب .
في الحقيقة هذه الطريقة تسمح بانتاج قطع ممتازة أو رديئة وذلك حسب
العناية المبذولـة .
القالب قد يحتاج أحيانا الى محاليل مساعدة لاخراج القطعة المنتجة مثل
Alcool polyvinylique الذى يرش بواسطة فرد أحيانا وهذا يسهل عملية
اخراج القطعـــة ..

نسبة التسليح المئوية تختلف حسب المواصفات المطلوبة وحسب نوع مادة التسليح ·




الشكل ( ٨٧ )

A ـ الريزين ·
B ـ الالياف الزجاجية ·
C ـ البلاستيك المسلح ·

كما لاحظنا فان مبدأ هذه العملية بسيط ، هناك تعديلات وتحسينات كثيرة طرأت على هذه التقنية (سنراها فيما بعد ) ·

ميزات هذه العملية هي البساطة في المعدات المطلوبة ولا تتطلب شروط خاصة ، وتسمح بانجاز تغيرات بالشكل للقطعة المنتجة بدون صعوبة ومعدات اضافية بسيطة · يمكن الانتاج بكميات متوسطة اذا توفر عدد كاف من القوالب وواسطة تسخين بمحسم (فرن ) حيث يسمح هذا بالاسراع بدورة البلمرة التي تأخذ وقت طويل بدرجة الحرارة العادية ·

مساوىء هذه العملية اعتمادها بالدرجة الأولى على العامل وبقدرته وبالتالي فالخواص قد تكون مختلفة قليلا بين المنتجات ، كما أن هناك امكانية كبيرة لوجود الفقاعات والانتفاخات أو التجاعيد بالمنتجات ·

التطبيقـــات : بهذه الطريقة يمكن انتاج :
ـ قوارب النزهات ، قوارب الصيد ، كواسح ألغام بطول ٥٢ متر ·
ـ صناديق سيارات الشحن ، غرف الهواتف ·
ـ مسابح كاملة مع أغطيتها ، الشكل ( ٨٨ ) ·
ـ هياكل سيارات السباق وبعض السيارات الصغيرة ·
ـ أحواضا وصهاريج للصناعات الكيميائية أو الغذائية ·

الشكل ( ٨٨ )



٢ ـ القولبة بالقذف المتزامن للريزين والألياف الزجاجية المقطعة :

Moulage par projection simultanée de fils coupés et de Résine.

مبدأ آلات القذف لمختلف النماذج هو واحد ، الشكل ( ٨٩ ) يبيـــن القذف المتزامن لألياف زجاجية مقطعة وللريزين علـى القالب .

هذه العملية تلائم انتاج القطع ذات الأبعاد المتوسطة والكبيرة بكميـات صغيرة ( ١ ـ ٥٠٠ ) قطعة ) ، أو كميات متوسطة ( ٥٠٠ ـ ٥٠٠٠ قطعـة ) . الطريقة ملائمة للأشكال البسيطة .

آلات القذف تتضمن العناصر التاليـة :

١ ـ مضخة غازية تمتص الريزين وتقوده نحو فرد أو فرود القذف .

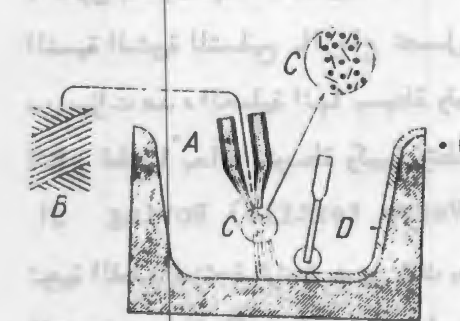
٢ ـ مضخة توجه الكمية المطلوبة من محفز التفاعل السائـل Catalyseur نحو فرد القذف ، عملية المزج بين الريزين والمحفز يتم في رأس الفرد .

٣ ـ أداة تقطيع الألياف الزجاجيـة .

٤ ـ مخزن يتضمن المذيب Solvant الذى يؤمن تنظيف رأس أو رؤوس القذف .

مع هذه المعدات فهناك حاجة الى الهواء المضغوط طبعا .

الشكل ( ٨٩ )




A ـ الريزيـــن .
B ـ Roving (مادة التسليح ) .
C ـ Roving (مادة التسليح المقطعة ) .
D ـ البلاستيك المسلح .

تصنع القوالب بمعظم الأحيان من البلاستيك المسلح مع محلول مساعد لاخراج

القطعــة ويستخدم نموذج من الخشب مثلا للقطعة المراد انتاجها • يجب أن يتأ من المجفف المطلوب لاتمام عملية الانها ء للقطعــة المنتجـــة •

الألياف الزجاجية المقطعة والمقذوفة تأتــي من آلة تقطيع تغذى بشـكل مستمر من بكرات Méches de Roving • كما يمكن استخدام الأنسجة Tissu من أجل التسليح الجانبي وغالبا توضع هذه الطبقة من الخارج عند التصنيــــع •

العملية تتألف من نشر عدة طبقات بالتتالي من مزيج ال Polyester المتضمن قطع الألياف • عدد الطبقات المقذوفة يتغير بصورة رئيسية كتابــع لسماكة القطعـــة المنتجـة •

زمن عملية القولبة Temps de moulage يتضمن مرحلة القذف ومرحلــة الاضطراب Ebullage وهو تابع لعدد من العوامل أهمها : مهارة العامل وهذا يلعب دوراً اساسي ، أهمية الآلة ومدى مردودها فـي الأداء ، ابعاد القطعة المنتجـة •

بعد تعريض القطعة لدرجة حرارة 80°C - 60 في فرن يجب القيـام بعملية قص الزوائــد ، وهذه العملية ضروريــة لأنه لا يمكن انتاج قطعــة لا تكون بحاجة لهذه العمليــة •

النسبة المئوية للتسليح بالزجاج تصــل الى % 30-25 •

من ميزات هذه العملية انها بسيطة وقوالبها غير باهظة التكاليف• تستطيع انتاج قطع بأبعاد متوسطة وكبيرة وتطبيقاتها واسعة ، كما انها تستخدم ال Roving (Verre textile) وهو الأكثر رخصا •

نوعية القطع المنتجة ترتبط بدون شك بخبرة ودقة العاملين • خواص المـواد المنتجة متوسطة ولكن يمكن تحسينها بصورة ملموسة بوصل طبقات ال tissu •

**التطبيقات :** هذه الطريقة تسمح بانتاج :

١ ـ أغطية بمساحات كبيرة .

٢ ـ قوارب بأبعاد صغيرة ( ٤ ـ ٥ متر ) .

٣ ـ علب لنقل السلع وللتخزين ، صناديق للأدوات والأجهزة الكبيرة .

٤ ـ معدات مختلفة للمعارض ومدن الملاهي ......... الخ .

## ٣ ـ القولبة بالفراغ أو بانخفاض الضغط (المهبوط) :

## Moulage sous vide ou par dépression :

**المبدأ :** ويعتمد على تطبيق ضغط معادل للضغط الجوى ، يغلف جيب قابل للتشوه ( صفيحة رقيقة كاوتشوكية من الأعلى ) موجود على مجموعة القالب وغطاء ، حيث منه يتم اخلاء الهواء ، الشكل ( ٩٠ ) . يصنع القالب من البلاستيك المسلح . اذا كان حرف غطاء القالب مهيء للسد باحكام فان الجيب القابل للتشوه لا يعود ضروريا .

الشكل ( ٩٠ )




A ـ صفيحة أو غشاء رقيق من المطاط .

B ـ غطاء القالب .

C ـ الألياف الزجاجية .

D ـ الريزين .

F ـ البلاستيك المسلح .

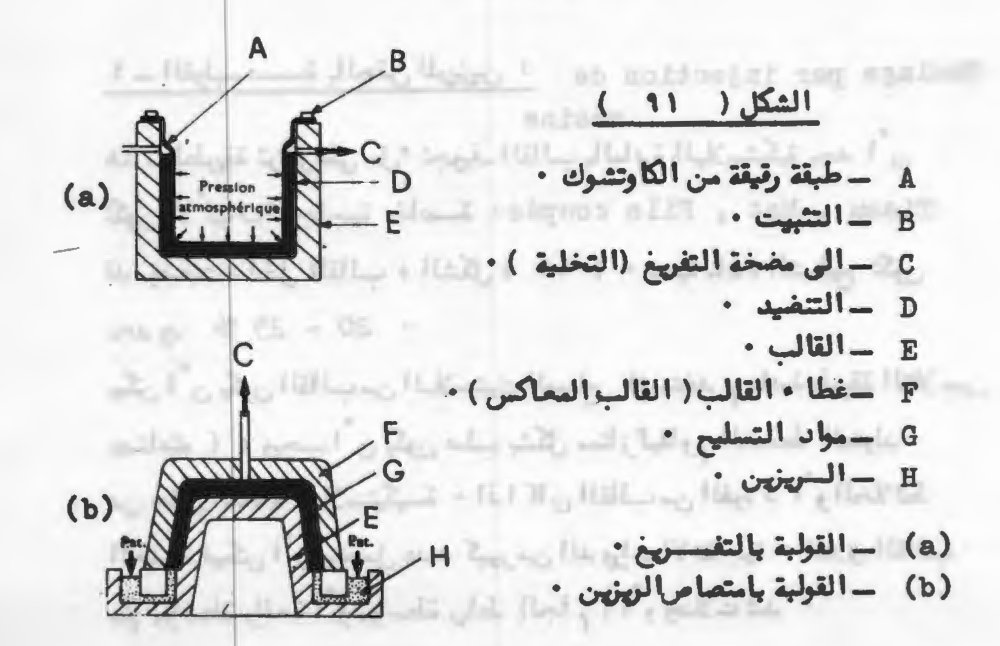
G ـ مضخة التخلية .

تستعمل هذه الطريقة لقولبة القطع بكميات صغيرة ومتوسطة ، وتسمح بالحصول على قطع ذات سطوح ممتازة على الوجهين . تعتمد الطريقة على استخدام

مضخة تفريغ للهوا ء على الجوانب وذلك تبعا لأبعاد القطع المراد انتاجها .
تكون القوالب صلبة ، من البلاستيك المسلح ويمكن صناعتها بنفس طريقة
صناعة القوالب المستعملة للقولبة بالتلامس . يجب أن تكون القوالب
صلبة لتجنب التشوه الناتج عن الضغط .
التسليح المستعمل يكون وفقا لشكل القطعة المنتجة : Mat ، خيط مقطع ،
خيط مستمر ، بشكل نسيجي Tissu .

<u>العملية</u> : القالب يهيء ويشمع Cirée ويغطى بمادة تسهل
اخراج القطعة . مادة التسليح توضع حيث يسكب الريزين اللازم فوقها ، ثم
يوضع فوقهما القالب المعاكس Contre-moule وتوضع ورقة من المطاط
المرنة جدا تضغط بواسطة طوق حديدى مسطح حول المحيط يثبت بواسطة
أربطة لتؤمن السد المحكم . المضخة تبدأ العمل بالتفريغ ( التخلية ) ،
وعند اتمام هذه العملية نعرض المجوعة للحرارة للاسراع بعملية البلمرة .
القطعة المنتجة يجب أن تنظف من الزوائد .
هذه الطريقة تعطي منتجات خواصها الميكانيكية مماثلة تقريبا لمنتجات الآلات
بنفس نسبة التسليح للألياف الزجاجية . من ميزاتها أنها تعطي سطوح
جيدة ، تكاليفها أقل وخواصها الميكانيكية متوسطة .
يجب المحافظة على فرجة ثابتة بين القالب وغطاءه ، على الأقل وضع مقويات
جانبية في بعض الأماكن حيث سماكة القطعة تكون كبيرة . هذه الأمور
تحتم دقة في بناء القالب الذى يمكن أن يكون صعبا ، وهذا ضرورى خاصة
عند انتاج قطع كبيرة الأبعاد حيث يجب استخدام قوالب صلبة ودقيقة
جدا . الشكل ( ٩١ ) يبين بعض الحالات المشابهة والتي تعمل
على نفس المبدأ .

<u>التطبيقات :</u> - قطع مختلفة للطائرات . - ألواح داخلية للعزل
الحرارى في الشاحنات وبعض الاستعمالات الاخرى .




الشكل ( ٩١ )

A ـ طبقة رقيقة من الكاوتشوك •
B ـ التثبيت •
C ـ الى مضخة التفريغ (التخلية ) •
D ـ التنضيد •
E ـ القالب •
F ـ غطاء القالب ( القالب المعاكس ) •
G ـ مواد التسليح •
H ـ الـريزين •
(a) ـ القولبة بالتفـريغ •
(b) ـ القولبة بامتصاص الريزين •

مثـال : المطلوب تصنيع وعاء للنقل بالأبعاد التالية ( الطول 500 mm ، العرض 400 mm ، العمق 150 mm ) •

السطح الكلي يكون حوالـي : $0,5\ m^2$

كلفة القالب بهذه الحالة يساوي تقريبا خمسة أضعاف كلفـة القالب بالطريقة الأولى ( القولبة بالتلامس ) •

يستعمل التسليح بشكل طبقتين من الخيط الزجاجي المستمر Mat بمعدل $450\ gr/m^2$ أي نحتاج الى 475 gr من مادة التسليح ( تم اعتبار ضياع بسيط من مادة التسليح ) •

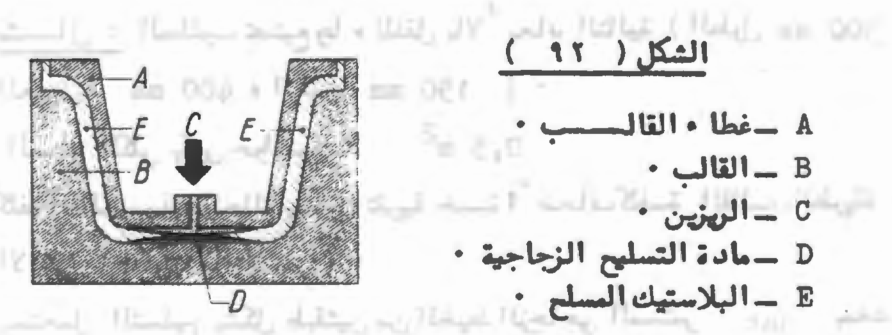
هذه القطعة تحتاج الى 2300 gr من ريزين ال Polyester أي 2775 gr من المواد الأولية • كتلة القطعة المنتجة 2200 gr • كميـة الانتاج بهذه الطريقة هي ( 6 - 5 ) قطعة بالساعة • بالاضافة لذلـك فهناك كلفة المعدات الغير قليلـة •

هل هذا اقتصادي اذا ماقورن بالطريقة الأولى لانتاج نفس القطعة ؟

٤ ـ القولبـــــة بالحقن للريزين : Moulage par injection de résine

هذه الطريقة ترتكز على ملء تجويف القالب بالمادة البلاستيكية بعد أن تكون الألياف الزجاجية خاصـة : Tissu , Mat , Fils coupés قد وضعت داخل القالب ، الشكل ( ٩٢ ) . نسبة مادة التسليح تكون بحدود 20 - 25 % .

يمكن أن يكون القالب من البلاستيك المسلح (تستخدم عادة طريقة التلامس بصناعته ) ، ويجب أن يكون صلب بشكل ممتاز ليقاوم الضغط المتولد عن حقن المادة البلاستيكيـة . اذا كان القالب من الفولاذ أو الخلائط الخفيفة فيمكن أن يتحمل عدد كبير من الدورات الانتاجية . اغلاق القالب يتم بواسطة رافعة أو بواسطة رباط (لجام ) أو وصلات شد .




الشكل ( ٩٢ )

A ـ غطاء القالـــب .
B ـ القالب .
C ـ الريزين .
D ـ مادة التسليح الزجاجية .
E ـ البلاستيك المسلح .

حاليا هناك آلات للحقن مجهزة بكافة المعدات اللازمة ، وتقوم بالعمل بشكل اتوماتيكي سريع .

هذه الطريقة تسمح بالحصول على قطع بنسب ثابتة من زجاج التسليح ، بدون فقاعات هوائية واستهلاك المواد الأولية معروف بدقة . عملية الحقـن تسمح بالحصول على الأشكال المعقدة وبدقة كبيرة وهذا يعتمد بالدرجة الأولى على القالب ودقـة صناعته . زمن الحقن سيكون تابع لأبعاد ولشكل القطعة المنتجـــة .

**التطبيقـــــات :**

- اوعية واحواض للنقل والتخزيـــن .
- قطع مختلفـة لهياكل السيارات .
- اغطيــة للاستعمالات الكهربائيــة .

**مثال :** وعاء للنقـل ابعاده مماثـلة لابعاد المثال السابق (ص ١٧٣)، تكاليف القالب وتوابعه تعادل حوالي عشرة اضعاف تكاليف قوالب طريقـة التلامس . كمية الريزين ومادة التسليح نفسها للحالة السابقة .

عند استخدام قالب وغطاء من البلاستيك المسلح ، كمية الانتاج حوالي ( ٥ ) قطع خلال الساعتين الاولى ، ( ٣ ) قطع بالساعة بعد ذلك .

ضغط الحقن : (0,1-0,2 MPa ) = 1 - 2 bar .

سرعة سير الريــزين : 0,5 m/min

ضغط الاغلاق يجب ان يوازى ضغط الحقن للريزين ، وتوزع القوى هـذا يعتمـد بصورة اساسية على صلابة القالــــب .

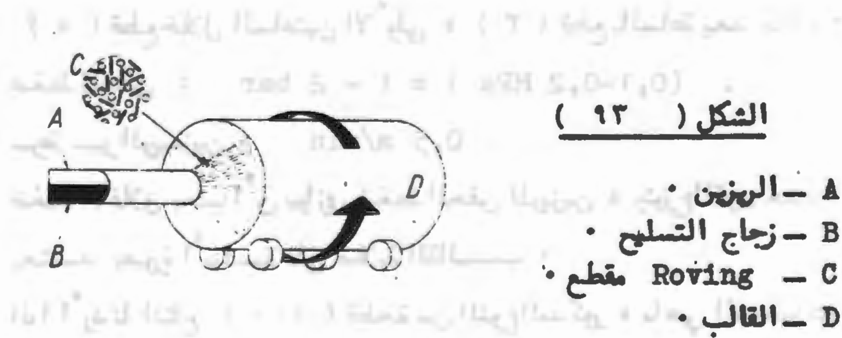
اذا اردنا انتاج ( ١٠٠ ) قطعة من النوع المذكور ، ماهي المعطيات الاقتصادية لهذه العملية الانتاجية بالمقارنة مع الطرق الاخرى ؟

**٥ ـ القولبـة بالقوة الطاردة المركزيـة : Moulage par Centrifugation**

هذه الطريقة مشتقة من الطرق المعروفة لقولبة حديد الصب مثلا او البيتون . القولبة بهذه الطريقة تتم بادخال مادة التسليح الزجاجية داخل قالـب دوار ومن ثم ادخال الريزين البلاستيكي مع بعض الاضافات الضرورية اللازمة لانجاز عملية البلمرة بالمشاركة بسرعة . بعد ذلك نعطي القالب سرعة دوران كافية بحيث يتم امتزاج وتعشيق جيد للريزين ولزجاج التسليح بتاثيــر

القوة الطاردة المركزية . بعد التصلب الكامل يتم اخراج القطعة . هذه الطريقة لا تناسب الا انتاج القطع الدائرية ذات السطح الداخلي الاسطواني ، مع ذلك وبواسطة التقنية المتطورة فقد أمكن الحصول على بعض التفاصيل والأشكال على القطعة المنتجة .

المعدات المستخدمة كما بالشكل ( ٩٣ ) هي في الحقيقة عبارة عن قالب . التجهيزات اللازمة للعملية هي مجموعة تخترق القالب لتوزيع الريزين وأحيانا زجاج التسليح ، وكذلك مجموعة للتسخين تكون عادة خارج القالب ومجموعة لتغير السرعة .




الشكل ( ٩٣ )

A - الريزين .
B - زجاج التسليح .
C - Roving مقطع .
D - القالب .

يصنع القالب عادة من الفولاذ وبدقة متناهية ويكون سطحه ناعم جدا ويتألف من قطعة واحدة أو عدة قطع وذلك حسب الشكل المراد انتاجه وامكانية اخراج القطعة . كما يجب أن يكون متوازن بشكل جيد لأن السرعات التي يدور بها عالية .

تبعا لشكل القطعة المنتجة وللخواص المطلوبة يتم اختيار نوع ونموذج زجاج التسليح وخواصه ، غالبا ومعظم التطبيقات يستعمل الـ Mat وذلك حتى قطر 600-800 mm ، للأقطار الكبيرة يستعمل الـ Roving (بشكل خيوط مقطعة ) . النسبة المئوية لمواد التسليح بحدود % 30-50

هذه الطريقة هي الوحيدة للانتاج التي لا يستخدم بها غطاء للقالب وتنتج مواد بلاستيكية مسلحة ناعمة السطح جدا وعلى الوجهين وخالية من فقاعات الهواء ، لذا فمقاومتها للصدم عالية وكذلك للتآكل .
هذه الطريقة تحتاج الى استثمارات مالية نسبيا مرتفعة ، ولكن تسمح بانتاج كميات جيدة من القطع الجاهزة فورا للتسويق والاستخدام . ضيق مجال تنوع الأشكال المنتجة هي السيئة الرئيسية لهذه الطريقة .

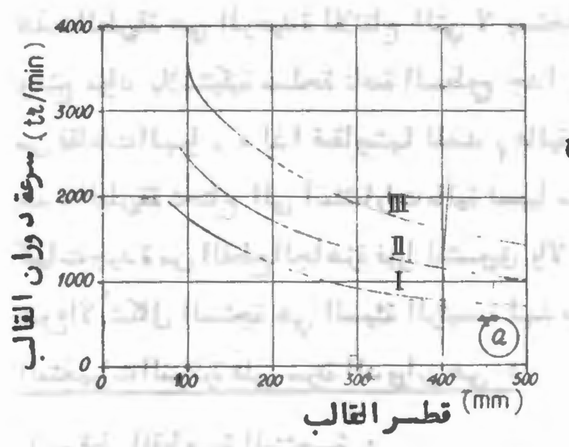
المتغيرات المؤثرة على سرعة الدوران هي :

١ ـ قطر القطعة المنتجة .
٢ ـ خواص مادة التسليح ، المرونة وامكانية الانتفاخ .
٣ ـ خواص الريزين ، اللزوجة ومقدرة الانضغاط .
٤ ـ النسبة المئوية لمادة التسليح الزجاجية .
٥ ـ سماكة القطعة المنتجة أوعدد طبقات مادة التسليح .

الشكل ( ٩٤ ) يبين تغيرات سرعة الدوران كتابع لقطر القالب عند نسبة مئوية ثابتة لمادة التسليح الزجاجية .
الشكل ( ٩٥ ) يبين تغيرات سرعة الدوران كتابع لنسبة مادة التسليح المئوية عند قطر ثابت .

التطبيقات :

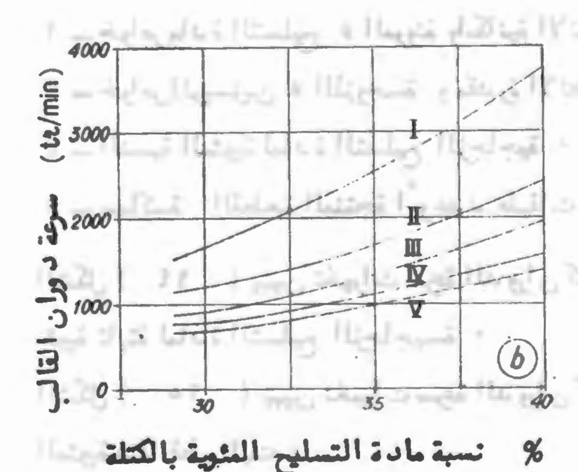
ـ الأنابيب والقساطل .
ـ أوعية لطمر الغلال والمحاصيل .
ـ معاصر للنبيذ .
ـ أجسام الصهاريج .........الخ .




الشكل ( ٩٤ )

النسبة المئوية لمادة التسليح الزجاجية :

30 % - I
35 % - II
40 % - III




الشكل ( ٩٥ )

قطر القالب :

100 mm - I
200 mm - II
300 mm - III
400 mm - IV
500 mm - V

## ٦ ـ القولبة باللف الخيطي : Moulage par enroulement filamentaire

وله نوعان : اللف المتقطع واللف المستمر .

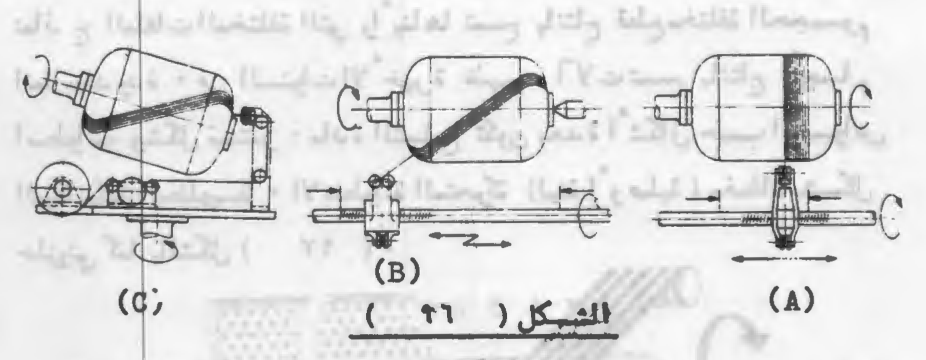
## ٦ ـ اللف المتقطع : Enroulement discontinu

المبدأ : يعتمد على الخواص الممتازة لمقاومة الخيوط الزجاجية على الشد . وترتكز هذه العملية على لف خيوط زجاجية لمسافة عريضة حول

اسطوانة متحركة بشكل مستمر ويكون الخيط مشدود كثيرا ومعشق (مغطى) قبـــل ذلك بريزين متصلب حراريا • تتوضع الطبقات دائما باتجاه قـــوة الشد وتستمر حتى السماكة المطلوبـــة • بعد انتهاء عملية البلمرة تستبعد طبعا الاسطوانة من القطعة المنتجـــة • يستخدم أحيانا محسم حراري لانجاز عملية البلمرة بسرعة •

تستخدم هذه العملية لانتاج القطع الاسطوانية الصغيرة والمتوسطة والكبيرة الحجـم • الشكل ( ٩٦ ) يبين عملية القولبة باللف الخيطي الغير مستمر ونلاحظ ثلاثة نماذج للملفات :

(A) : ملف دائري • (B) : ملف حلزوني (لولبي) • (C) : ملف كوكبي (قطبـــي) •




الشـكل ( ٩٦ )

(A) ـ ملف دائري • (B) ـ ملف حلزونـــي • (C) ـ ملف كوكبـــي •

يجب تنعيم سطح القطعة المنتجة قبل تسويقها ، وأحيانا تغلف بطبقـة للتأكد من عدم نفاذيتها •

نسبة مواد التسليح الزجاجية قد تصل الى ( 70 - 80 % ) حيث يعطي منتجات ذات مقاومة نوعية مرتفعة جدا • استعمال مثل هذه المواد ذات الخواص النوعية الممتازة مخصص بصورة عامة للاستخدامات العسكرية وفـــي مجال الفضاء •

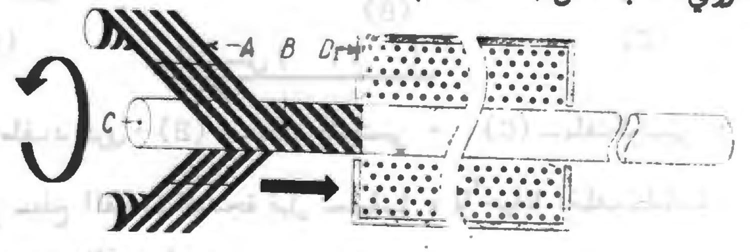
الشكل (٩٦)

<u>التطبيقـــــات :</u>

- صهاريج للنقل والتخزيـــن .
- مخازن مطمورة لحفظ الغلال والمحاصيل .
- أنابيب وأقنية .
- نماذج معينة من الرادوم ( قبة يحفظ فيها هوائي الرادار ) .
- خـــــزانات .
- أجســـام الصواريخ .
- أنابيب سلاح البازوكا ( سلاح تطلق منه الصواريخ على الدبابات وغيرها ) .

<u>ب - اللـــــف المستمـــر :</u> Enroulement continu

نماذج الملفات المختلفة التي رأيناها تسمح بانتاج قطع مختلفة الحجـــوم انما محدودة . في السنوات الأخيرة ظهرت آلات تسمح بانتاج أجسام اسطوانية وبشكل مستمر . مادة التسليح تكون بعدة أشكال حسب الخـــواص الميكانيكية المطلوبـــة . الاسطوانة المتحركة (لينة أو صلبة) مخطاة بشـــكل حلزوني كما بالشكل ( ٩٧ ) .




<u>الشـــكل ( ٩٧ )</u>

A - زجاج التسليح .　　　　B - زجاج التسليح المعشق مع الريزيـــن .

C - الاسطوانـــة .　　　　D - محـــم (فرن) البلمـــرة .

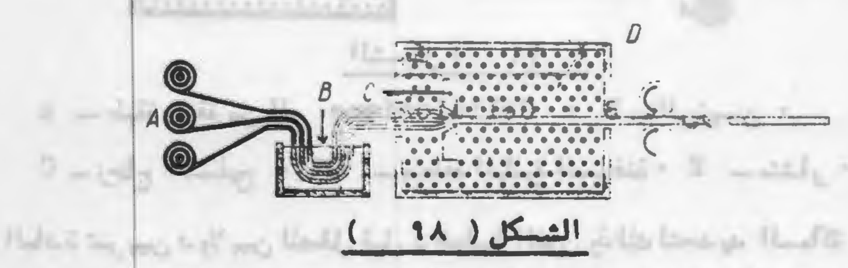
<u>التطبيقات :</u> أنابيب وأقنية ، أجسام اسطوانية لتصنيع الصهاريج والمخازن المطمورة ....... الخ .

## ٧ ـ القولبـــة بالتخطيس :

هذه العملية تستعمل للانتاج المستمر للعناصر الاسطوانية وللمقاطع المختلفة المصمتة أو المجوفـة .

المبدأ : المجموعة كما بالشكل ( ٩٨ ) تتضمن مقاطع محددة بدقة . المقطع الأول يتغذى بملفات الـ Roving أو بأشرطة من الـ Mat وتتضمن حوض للتعشيق ( بين الريزين وزجاج التسليح ) . عند مخرج الحوض هناك مجموعة للعصر لا تترك على مادة التسليح سوى كمية محددة من الريزين وفق المطلوب ، وبذلك يمكن ضبط النسبة المئوية للتسليح تماما . مجموعـة الأشرطة تدخل بعـد ذلك ضمن فتحة مستقيمة Filière rectiligne مسخنة ، طولها متغير . المادة تتبلمـر ثم تسحب عند خروجها بواسطة آلة سحب وتقطع بالأطوال المطلوبـة . بصورة عامة المنتج لا يحتاج لعمليات انهاء .

النسبة المئوية لمادة التسليح الزجاجية بحدود % 60 - 25 . المنتجات لها مواصفات ممتازة بالشد والانحناء .




الشـكل ( ٩٨ )

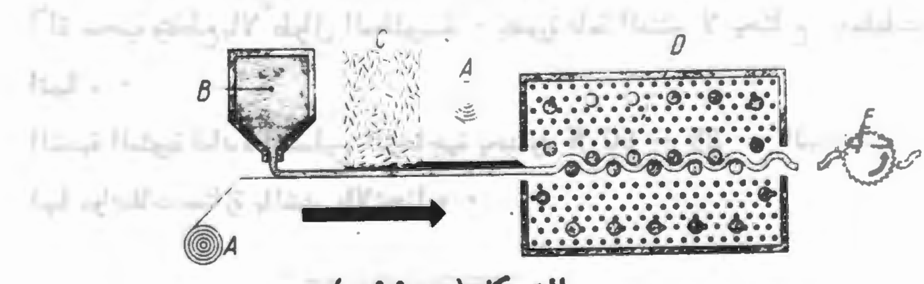
A ـ زجاج التسليح . B ـ الريزين . C ـ الفتحـــة
D ـ منطقـــة البلمرة المسخنة .

التطبيقـــات : ـ سيقان للتثبيت والترسيخ .
ـ بروفيلات بمقاطع مختلفة .
ـ زوايا ( أقنية زاوية ، دعامات زاوية ........ الخ ) .

## ٨ - القولبـة المستمـــرة : Moulage en continu

الآ لات المستخد مة للانتا ج بالقولبة المستمرة تستعمل بالأ صل لانتا ج الأ لواح المصقولة والبروفيلات المختلفـة وترتكزعلى المبدأ التالي :

- تعشيق الأ لياف الزجاجية ( Mat, Fils coupés ) بريزيـــن البوليميــر الثابت بالضوء .
- حشو هذه المادة بين قشرتين رقيقتين من الـ Cellulosiques أو الـ Polyester .
- امرار المنتج بصورة تد ريجية بد ورة من البلمــرة حيث نحصل على المنتج النهائي الذى يخرج من المحسم ( الفرن ) ليقطع بعد ذلك حسب الأ بعاد المطلوبـة كما بالشكل ( ٩٩ ) .



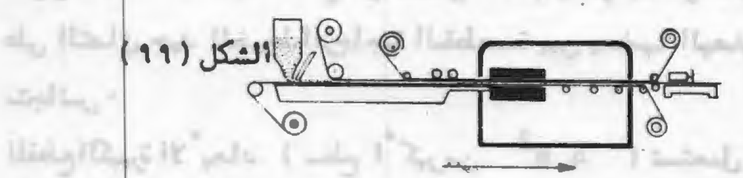

الشـكل ( ٩٩ )

A - طبقة رقيقة من الـ Cellulosique . B - الريزيــن .
C - زجاج التسليح . D - منطقة البلمرة المسخنة . E - منشار .

المادة تمر بين د ولا بين للصقل قبل دخولها الفرن وذ لك لتحد يد السماكة المراد انتاجها . قشرتي الـ Polyester والـ Cellulosiques تسترجع عند الخروج من الفرن وقبل التقطيع حيث تنظف وتستعمل لعدد من الد ورات .

النسبة المئوية لمادة التسليح الزجاجية تكون بحدود (% 30 - 25) .
المادة الحاوية هذا التركيب تكون نصف شفافة ولكنه باللون الطبيعي أي

( ريزين بوليستير ) تنقل الضوء بنسبة قد تصل الى % 85 •



الشكل ( ٩٩ )

التطبيقـــات : هذه الطريقة من القولبة تسمح بالانتاج الصناعي للالواح المصقولة بأطوال مختلفة أو بشكل بكرات أو بروفيلات مختلفـة •

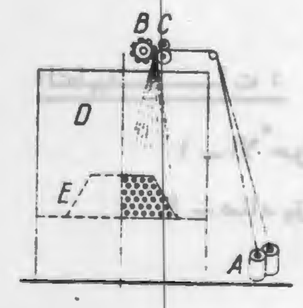
## ٩ ـ طريقـة التشكيل المسبق : Préformage

تعتمد هذه الطريقة على توزيع أو قذف فوق دريئة مثقبة ( لها تماما نفس شكل جوانب القالب ) سماكة معينة من الخيوط الزجاجية المقطعة المتجمعة بواسطة الريزين القابل للذوبان الذى غالبا مايكون بمرحلتين :

١ ـ بشكل بودرة عند عملية التشكيل •

٢ ـ بشكل مستحلب عند مرحلة الانتها • ليعطي سطح جيـد ، كما يمكن استعمال خيوط زجاجية ناعمة وصغيرة جدا في هذه المرحلة لنفس السبب •

العملية كما بالشكل ( ١٠٠ ) تتضمن تقطيع الخيوط وتوزيعها على الدريئة مع الروابط المخصصة للصق بينها •




الشكل ( ١٠٠ )

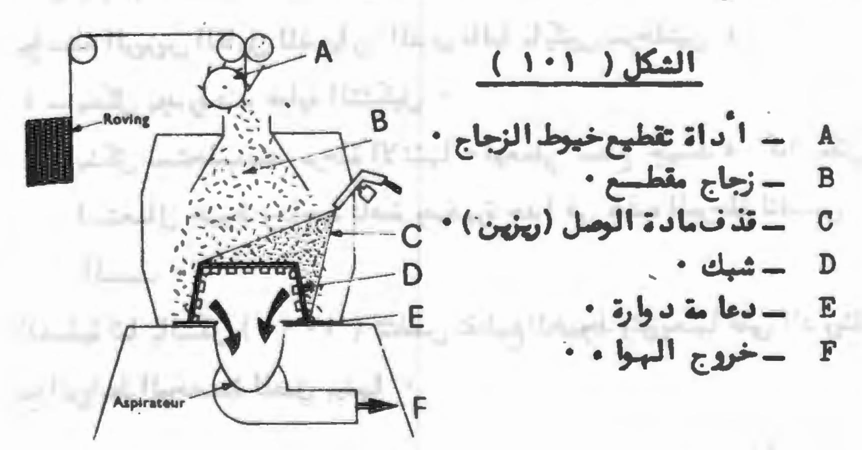
A ـ بكرات تحمل خيوط الـ Roving •
B ـ آلة التقطيـع •
C ـ بكرات سحب الخيوط الزجاجية •
D ـ غرفة التشكيل المسبق •
E ـ دريئة التشكيل المسبق •

التسخين يتم بوضع الدريئة المشكلة مسبقا خلال عدة دقائق في محماً وبدرجة حرارة 180°C - 160 التي تؤمن التجفيف والبلمرة ، وبذلك نحصل على التصاق جيد للخيوط الزجاجية المقطعة بين بعضها البعض أي تسليح متجانس .

للقطع الكبيرة الأبعاد ( سطح أكبر من $4\ m^2$ ) تستعمل معدات أخرى وتدعى الطريقة بالتشكيل المسبق المفتوح Préformage ouverte حيث توزيع الزجاج والبلاستيك يتم يدويا على دريئة دوارة ( يمكن استخدام آلات خاصة للقيام بهذا التوزيع ) .

هذه الطريقة تسمح بانتاج القطع ذات العمق الكبير .

الشكل ( ١٠١ ) يبين امكانية استخدام مجموعة امتصاص للهواء وحامل دوار للانتاج .




الشكل ( ١٠١ )

A — أداة تقطيع خيوط الزجاج .
B — زجاج مقطع .
C — قذف مادة الوصل (ريزين) .
D — شبك .
E — دعامة دوارة .
F — خروج الهواء .

**التطبيقات :** من أهم تطبيقات هذه الطريقة :

١ — الأحواض بمختلف القياسات .

٢ — صناديق السيارات الشاحنة وما شابه ذلك .

١٠ - القولبة بالضغط : Moulage par compression

لطريقة القولبة هذه نوعان :

أ - القولبة على الآلة وعلى البارد : مبدأ هذه العملية هو التالي :

مادة التسليح الزجاجية تكون على شكل Mat, F.coupés, F.continu
حيث توضع على الأداة الضاغطة للقالب (غطاء القالب) أو بداخل القالب
المصنوع غالبا من البلاستيك المسلح ، والريزين اللازم يوضع بلا تنظيم
على مواد التسليح . القالب يثبت على صفائح آلة هيدروليكية تستطيع
أن تؤثر بضغط 2-5 bar . سرعة حركة الاغلاق بالآلة يجب أن
تكون قابلة للتنظيم والضبط Réglable .
اغلاق الآلة يتم بزمنين : السرعة الأولى (سرعة التقريب) 2-5 m/min
تسمح بانجاز الشوط بسرعة ، السرعة الثانية 1-30 cm/min تسمح بقيادة
القالب بحيث لا يلا مس المادة الغير مبلمرة .
زيادة الضغط يجب أن تؤمن التوزيع الجيد للريزين في الحجم ما بين
القالب وغطاءه وكذلك طرد الهواء المحصور مع تجنب ضياع الريزين بواسطة
الاغلاق السريع الأكثر من اللازم .
نسبة مواد التسليح بحدود 20- 40 % . سطوح المنتجات بهذه الطريقة
تكون ناعمة على الوجهين . هذه الطريقة صالحة لانتاج الكميات المتوسطة .
يمكن استخدام القالب لانتاج حوالي ( ١٥٠٠ ) قطعة .

التطبيقات : ١ - أحواض وأوعية مختلفة .
٢ - علب كهربائية ....... الخ .

ب - القولبة على آلة وعلى الساخن : Moulage à la presse à chaud

هذه التقنية تسمح بانتاج قطع بكميات كبيرة ومتوسطة (غالبا أكثر من 100000 قطعة ) ،

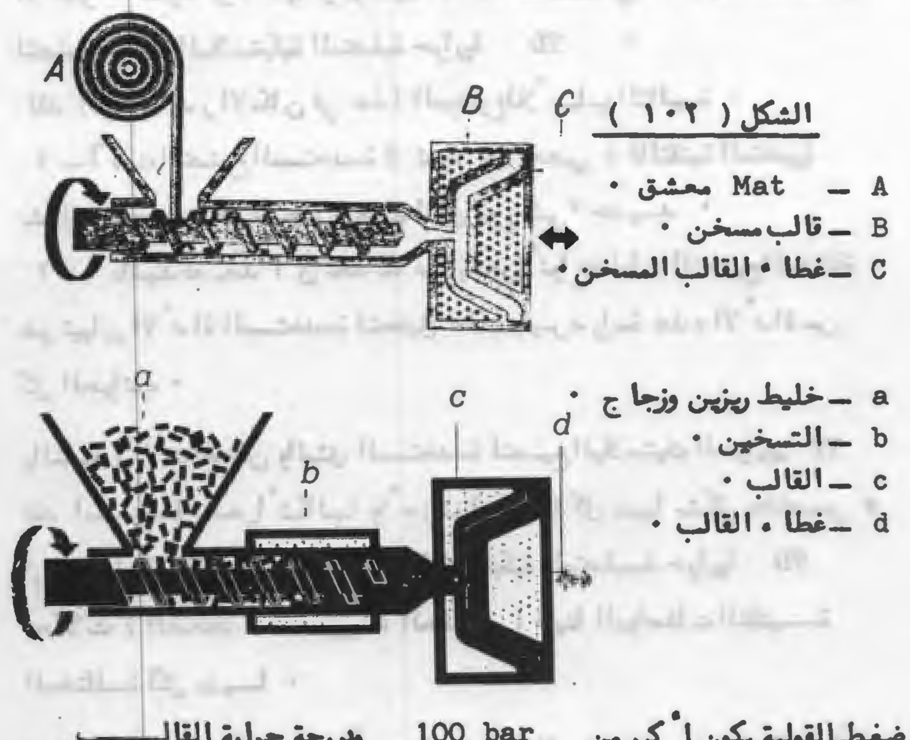
بواسطة آلة هيدروليكية وقوالب معدنية مسخنة . يوضع كل من مادة التسليح والريزين بين القالب وغطاءه المثبت على صفائح الآلة . بعد الاغلاق واتمام دورة البلمرة ، القطعة المنتجة تكون ذات سطحين ناعمين .
هذه العملية تستعمل لانتاج قطع ذات أبعاد صغيرة ومتوسطة ، مثلا عند ما يكون السطح الكلي $3\ m^2$ فصفائح الآلة يجب أن تكون أبعادها بحدود $2000 \times 2000$ mm .
تصنع القوالب من الفولاذ ذو السطح الناعم جدا والمغطى بطبقة من الكروم الصلب . تثبت القوالب على صفائح الآلة الهيدروليكية حيث تتعرض لضغط 10 - 30 bar .
العملية تتم بثلاثة أزمنة : السرعة الأولى هي سرعة التقريب وتكون بحدود 6-8 m/min والثانية هي سرعة الدنو (الاقتراب البطيء) وهي بحدود 5-30 cm/min حيث تسمح بجلب الصفيحة العلوية بملامسة المادة الغير مبلمرة ( يمكن الاستعانة ببحث الآلات - البحث الرابع ) ، أما الزمن الأخير فهو زمن ارتفاع الضغط والذى يجب أن يؤمن توزع الريزين بشكل جيد في الحجم ما بين القالب وغطاءه وطرد الهواء المحصور مع تجنب أي ضياع بالريزين من جراء الاغلاق السريع جدا .
المحافظة على الضغط والتسخين للقالب يؤمنان بواسطة الآلة كهربائيا أو بواسطة جريان السائل وهذا يسمح بعملية البلمرة .
زمن القولبة الكلي هو 2-3 min أى كمية الانتاج بالساعة الواحدة 30 - 20 قطعة . يجب ازالة الزوائد عن القطعة المنتجة .
نسبة مواد التسليح الزجاجية بحدود 30 - 40 % .

**التطبيقات :**

- انتاج قطع مختلفة للسيارات الصغيرة والشاحنة . قطع صناعية مختلفة .
- كثير من القطع المخصصة للاستعمالات الكهربائية والعزل .

## ١١ - القولبة بحقن الزجاج والريزين المتعشقين :

هذه الطريقة لا زالت قليلة الاستعمال وهي قريبة من طريقة التحويل (التي رأيناها سابقا ) . ترتكز على حقن البلاستيك ومواد التسليح داخل قالب مصنوع من الفولاذ كما بالشكل ( ١٠٢ ) . اسطوانة الحقن تتغذى بشكل اتوماتيكي بالمواد على شكل خليط أو على شكل بكرة .




الشكل ( ١٠٢ )

A - Mat معشق .
B - قالب مسخن .
C - غطاء القالب المسخن .

a - خليط ريزين وزجاج .
b - التسخين .
c - القالب .
d - غطاء القالب .

ضغط القولبة يكون أكبر من 100 bar ودرجة حرارة القالب 140 - 160° C .

هذه الطريق جيدة للانتاج بكميات كبيرة وحتى 60 قطعة بالساعة .
القطع المنتجة تكون صغيرة الأبعاد 10x10 cm وسماكة نسبيا مرتفعة 4 - 6 mm ومخصصة غالبا للاستعمالات الكهربائية .

## البحث الرابع

## آلات انتاج وتصنيع المواد البلاستيكية

في هذا البحث سنكتفي بالحديث عن آلات التصنيع المستخدمة في الحقن والبثق لمواد البلاستيك الحراري TP وهي الأكثر شيوعا واستعمالا وذلك باعطاء فكرة مبسطة عن مبدأ هذه الآلات من حيث الأجزاء المكونة ووظائفها وخواصها ، كما سنبحث في الآلات المستخدمة لتصنيع المواد البلاستيكية المتصلبة حراريا TD .

لقد أوجزنا قدر الامكان في هذا الموضوع للأسباب التالية :

١ — آلات التصنيع المستخدمة لا تعد ولا تحصى ، فالتقنية المتطورة بشكل سريع في هذا المجال تعطينا كل يوم شيء جديد .

٢ — مانهدفه بعد أن تحدثنا عن بعض أنواع عمليات التصنيع المختلفة هو تبيان الأداة المستخدمة لتحقيق ذلك وليس دراسة هذه الأداة من كل الجوانب .

بالنسبة لآلات الحقن والبثق المستخدمة لتصنيع البلاستيك الحراري TP فقد استعرضنا بعض أشكالها وأجزائها ووظيفة كل منها بشكل مختصر ، ثم انتقلنا الى آلات تصنيع المواد البلاستيكية المتصلبة حراريا TD بحالات ( الضغط ، التحويل ، الحقن ) فبينا المواصفات التقنية المختلفة لكل منها .

هنا لا بد من الاشارة الى أن هناك تماثل الى حد ما من حيث المبدأ والمواصفات لآلات الحقن في حالتي البلاستيك الحراري والبلاستيك المتصلب حراريا ، حيث أن المادة البلاستيكية المصنعة والخواص المطلوبة من المنتجات تحدد بعض التعديلات الضرورية على هذه الآلات .



مجموعة الحقن لآلة حقن البلاستيك الحراري

• آلة حقن أفقية لمواد البلاستيك الحراري وتحتوي على لولبين • تستخدم لانتاج الزهور بلونين عاديين وبلونين لسطح مزدوج •

١ ـ آلات الحقن : ( البلاستيك الحراري TP ) :

وتشمل مجموعة للتغذية وتجهيزات للتلدين وللحقن ، تغذى بالحبيبات ، تسمح بالتسخين والتجانس ، تؤمن عملية التحول تحت الضغط داخل القالب. كما تشمل آلات الحقن تجهيزات الإغلاق للقالب خلال الحقن ، تسمح بفتح واغلاق القالب ، مجموعة خاصة لقذف القطعة المنتجة éjection ، تجهيزات لدواعي الأمان نظرا لسخونة القالب وللتغذية والتلدين .
خواص الآلة تحدد بالمقاييس التالية :

١ ـ قوة الإغلاق : وتقدر بالطن حيث يمكن أن تصل لعشرات الأطنان لآلة صغيرة ولمئات الأطنان لآلة كبيرة .

٢ ـ استطاعة الحقن : تقدر بالحجم / سم ٣ / ١ أو بالوزن / كغ / للبولي ستيرن ( P S . المأخوذ كأساس للقياس ) ، واستطاعة التلدين تقدر بـ كغ / ساعة .

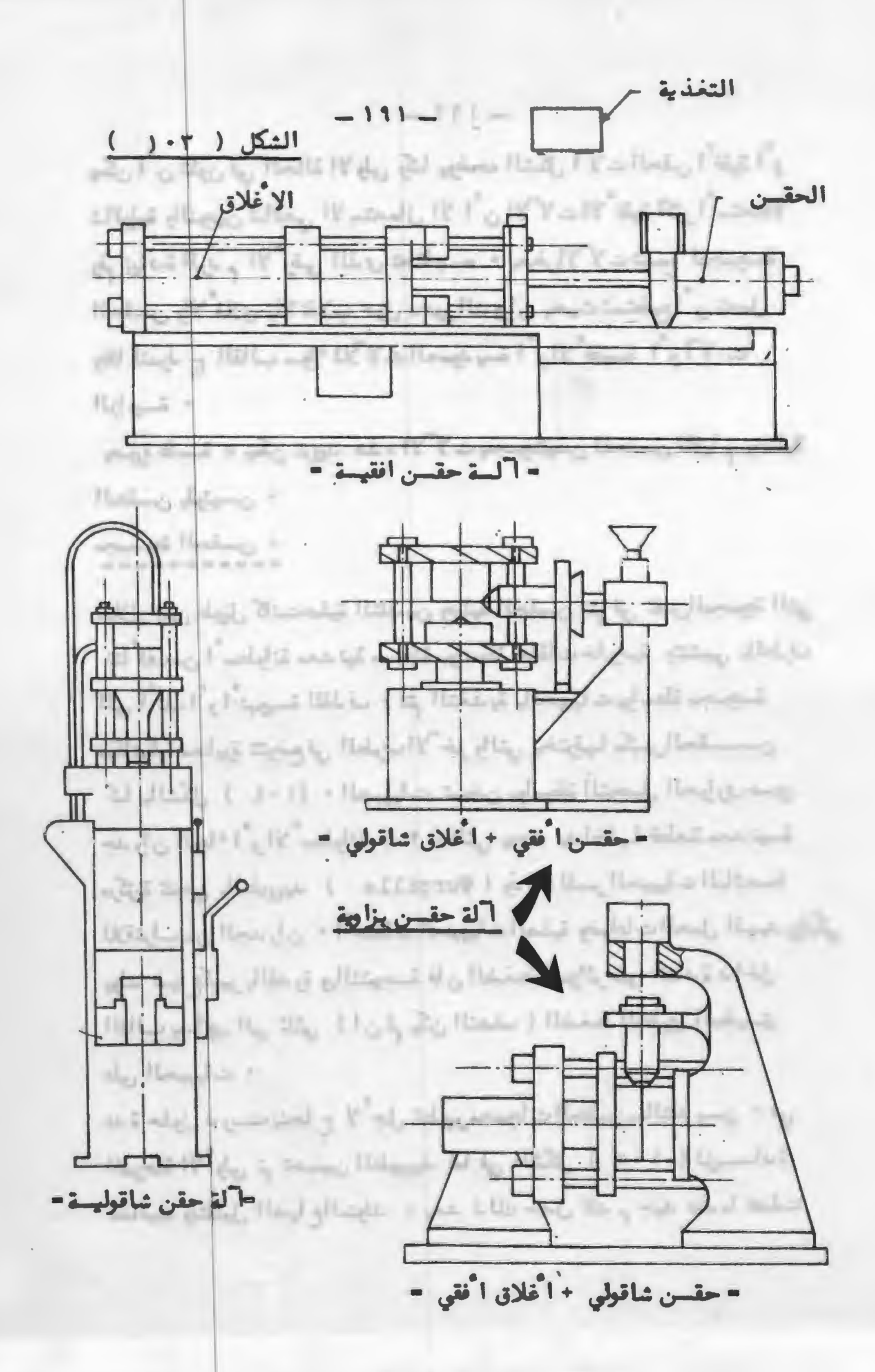
٣ ـ دورة بدون حمل : وتقدر بـ ضربة / دقيقة ، وهي دورة نظرية ، الدورة مع الحمل تعتمد على طبيعة المادة المستعملة وعلى الأبعاد الهندسية للقطعة المنتجة ( لا نعتبر هنا زمن التبريد بصورة خاصة ) .

الآلات يمكن أن تكون يدوية أو نصف أتوماتيكية أو أتوماتيكية وهو الشائع استخدامه في الوقت الحاضر . يجب أن يلحظ بالآلة قدرتها على تحمل القوى التي يمكن أن تصل لعشرات ومئات الأطنان حسب نوع الآلة . لذا يستعمل كثيرا عمودين أو أربعة متصلة بصفائح صلبة بشكل لجاف ( وصل مع المحافظة على مسافة ثابتة ) .

يمكن أن ترتبط مجموعات الحقن والإغلاق بعدة طرق كما بالشكل ( ١٠٣ ) :

١ ـ محور مجموعة الحقن متحد مع محور مجموعة الإغلاق وعمودى على الصفائح .

٢ ـ محور مجموعة الحقن موازى لصفائح الآلة وهذه تدعى آلة الزاوية .


التغذية
الشكل ( ١٠٣ )
الأغلاق
الحقــن
- آلـة حقـن افقيـة -
- حقــن أفقي + أغلاق شاقولي -
آلة حقــن بزاوية
- آلة حقن شاقوليـة -
- حقــن شاقولي + أغلاق أفقي -

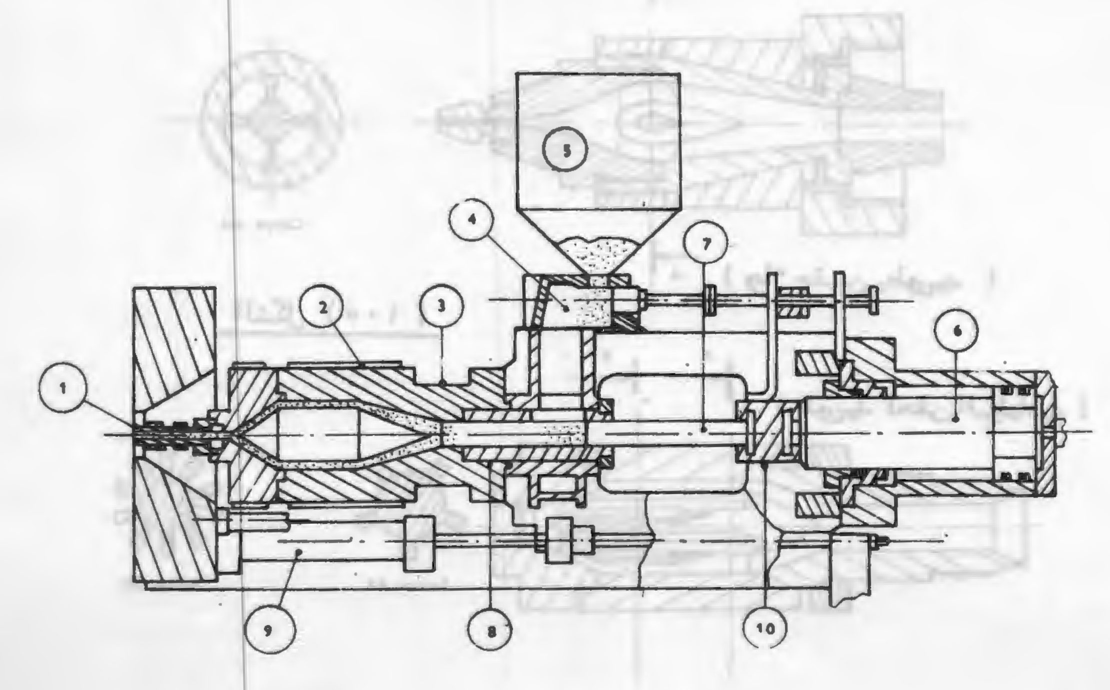
يمكن أن تكون في الحالة الاولى وكما يوضحه الشكل آلات الحقن أفقية أو شاقولية والنوعين شائعي الاستعمال الا أن الآلات الأفقية اكثر استعمالا رغم زيادة الردم الأرضي الذى تحتاجه . بعض الآلات تسمح لمجموعة الحقن والاغلاق بالانقلاب حول محور الدوران بحيث تستطيع أن تعمل وفقا لنموذج القالب سواء للآلات العمودية أو الأفقية أو آلات الزاوية .

بصورة عامة ، يمكن تزويد هذه الآلات بمجموعتين للحقن للقيام بعملية الحقن بلونين .

مجموعة الحقن :

خلال زمن طويل كانت عملية التلدين وعملية الحقن تتم في نفس المجموعة التي تتألف من أسطوانة معدنية مسخنة بواسطة حلقات خارجية وتنتهي بالطرف الى أنف أو أنبوبة للقذف . تتم التغذية بالحبيبات بواسطة مجموعة ميكانيكية معايرة تتوضع في الطرف الآخر والتي يخترقها مكبس الحقن كما بالشكل ( ١٠٤ ) . الحبيبات تسخن بواسطة التوصيل الحرارى من جدران الوعاء أو الأسطوانة ( ٣ ) التي يوجد بداخلها قطعة معدنية مركزية تدعى بالطوربيد ( Torpille ) وذلك لقسر الحبيبات المائعة للاقتراب من الجدران . احتكاك الحبيبات الصلبة وضياعات الحمل الهيدروليكي يولد ضياع كبير بالقدرة وبالنتيجة فان الضغط المؤثر على المادة داخل القالب يساوى الى ثلثي ( ان لم يكن النصف ) الضغط النظرى المطبق على الحبيبات .

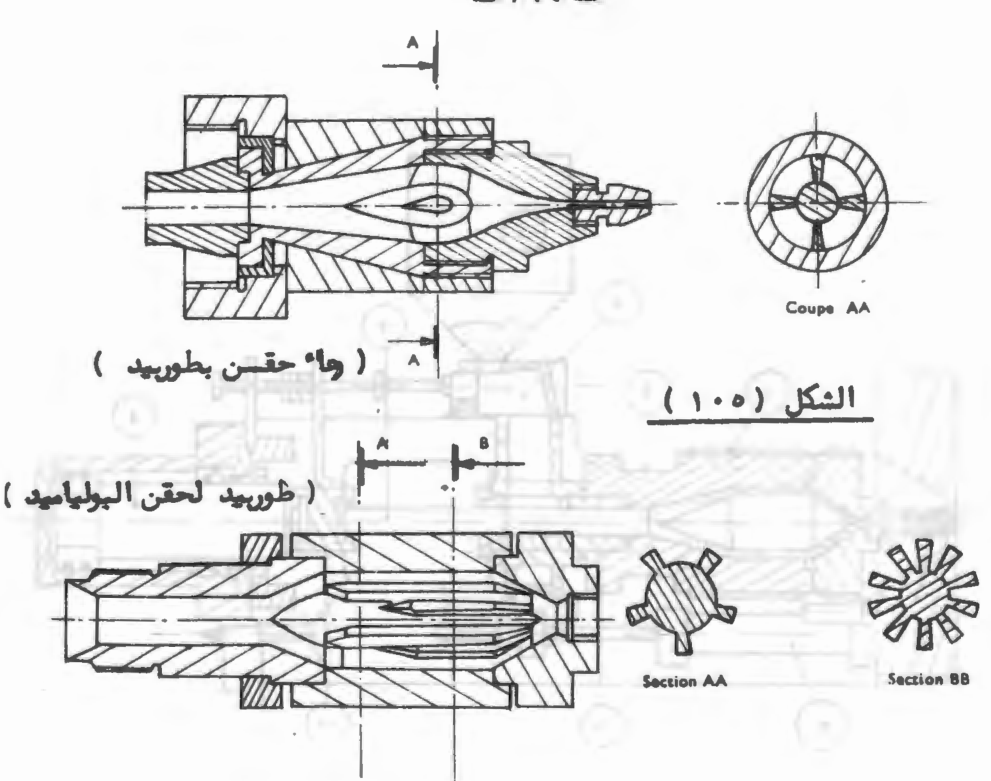
عدة حلول درست بنجاح لأجل تطوير مجموعات الحقن التلدين . في المرحلة الأولى تم تحسين الطوربيد كما في الشكل ( ١٠٥ ) لزيادة فعاليته ولتقليل الضياع المتولد ؛ بعد ذلك حصل تقدم جيد عندما فصلت




**الشكل ( ١٠٤ )**

**آلة بوعاء - مجموعة كتلة الحقن**

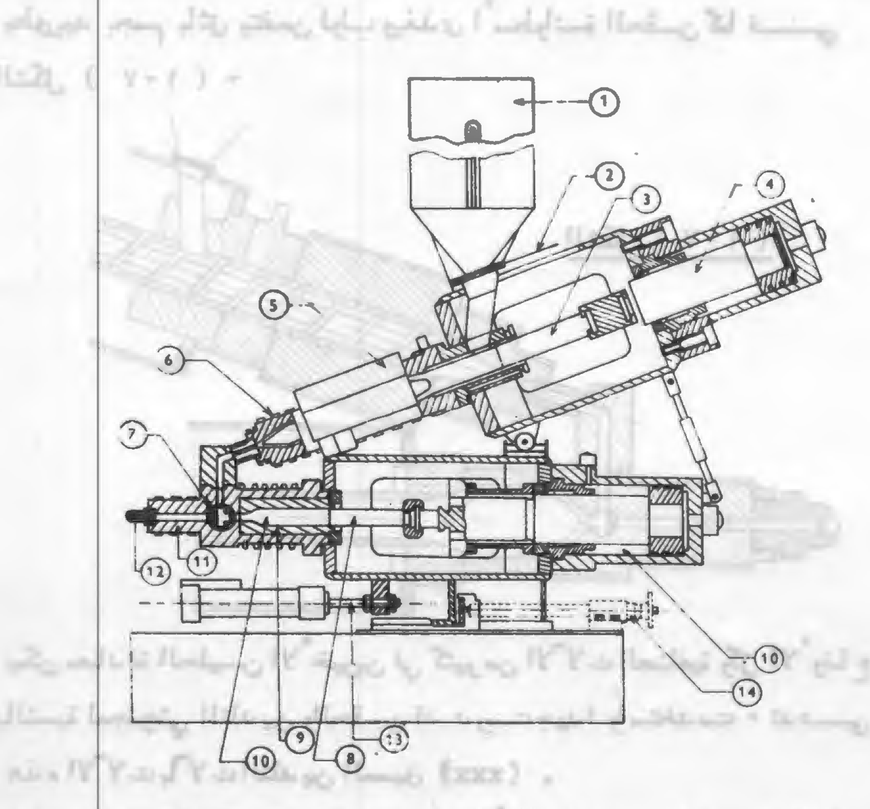
١- اسطوانة الحقن .
٢- تسخين .
٣- وعاء الحقن .
٤- موزع .
٥- قمع .
٦- رافعة الحقن .
٧- مكبس الحقن .
٨- قميص الحقن .
٩- رافعة لانتقال المجموعة .
١٠- قارنة وصل .




الشكل ( ١٠٥ )

مجموعـة التلدين عن مجموعة الحقـن ، وفي هذه الحالة فان اأسطوانـة تحتوى طوربيد يسمح بتلدين المادة البلاستيكية ويقوم بعد ذلك بتغذية مجموعـة مكبس وأسطوانـة والتي تحقـن المادة المائعـة داخل القالب الشكل ( ١٠٦ ) ، وفي هذه الحالـة فان الاحتكاك والضياع يتناقصان بصـورة جيدة خلال عمليـة الحقن ، غيرأن الاسطوانة مع الطوربيد المستعملـة للتلدين هما كذلك مبادل سيء للحرارة .

في الحقيقـة أن مشكلة تسخين البلاستيك نجدها في كل حالات الانتـاج لأن هذه المواد لها عازلية جيدة ولأنها بصورة عامـة تدخـل في آلات التحويل المختلفـة بشكل دفعات متقطعـة من الحبيبات .

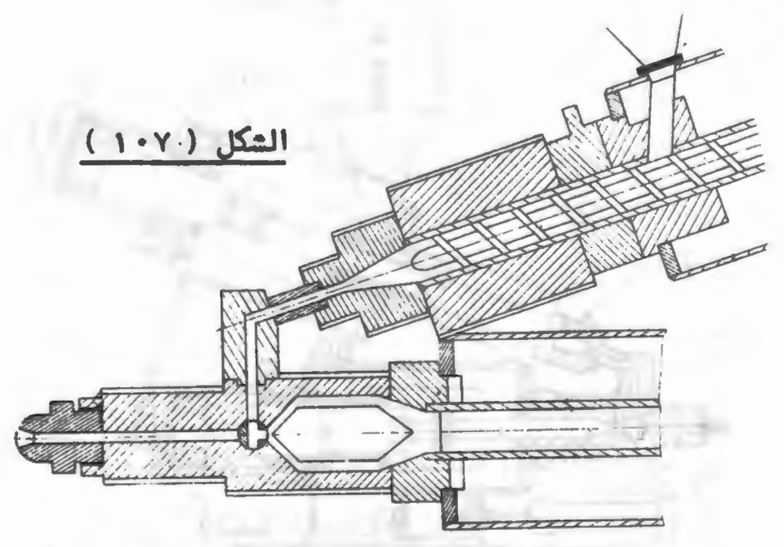



الشكل ( ١٠٦ )

آلة حقن لمواد البلاستيك الحراري ذات مجموعة تلدين منفصلة

١ـ قمع .
٢ـ مسجل .
٣ـ مكبس التلدين المسبق .
٤ـ رافعة التلدين المسبق .
٥ـ غرفة التلدين المسبق .
٦ـ حلقات التسخين .
٧ـ صمام بثلاث فتحات لتنظيم الجريان .
٨ـ مكبس الحقن .
٩ـ قميص غرفة الحقن .
١٠ـ غرفة الحقن .
١١ـ حامل الاسطوانة .
١٢ـ الاسطوانة .
١٣ـ مكبس اغلاق الاسطوانة .
١٤ـ مجموعة قطع الاعقاب (الجزرة) .

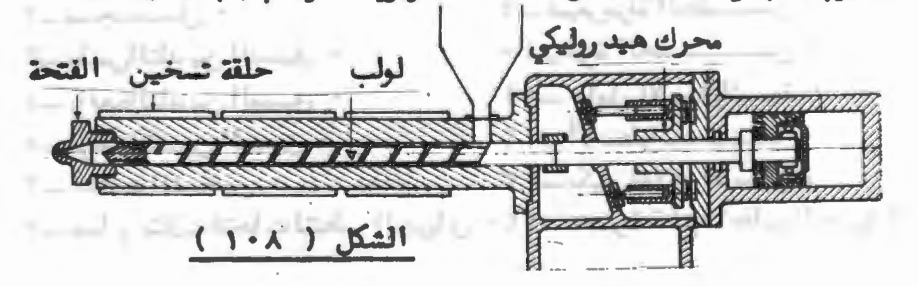
هناك تطور كبير تم بالنسبة لما تقدم وذلك عندما استبدلت مجموعة التلدين بطوربيد بجسم باثق يتضمن لولب ويغذى اسطوانة الحقن كما في الشكل ( ١٠٧ ) .



الشكل (١٠٧)

يمكن مصادفة الحليين الأخيرين في كثير من الآلات الصناعية وكل الأوضاع بالنسبة لمجموعتي التلدين والحقن قد درست جيدا واستخدمت . تدعى هذه الآلات بآلات التلدين المسبق (xxx) .

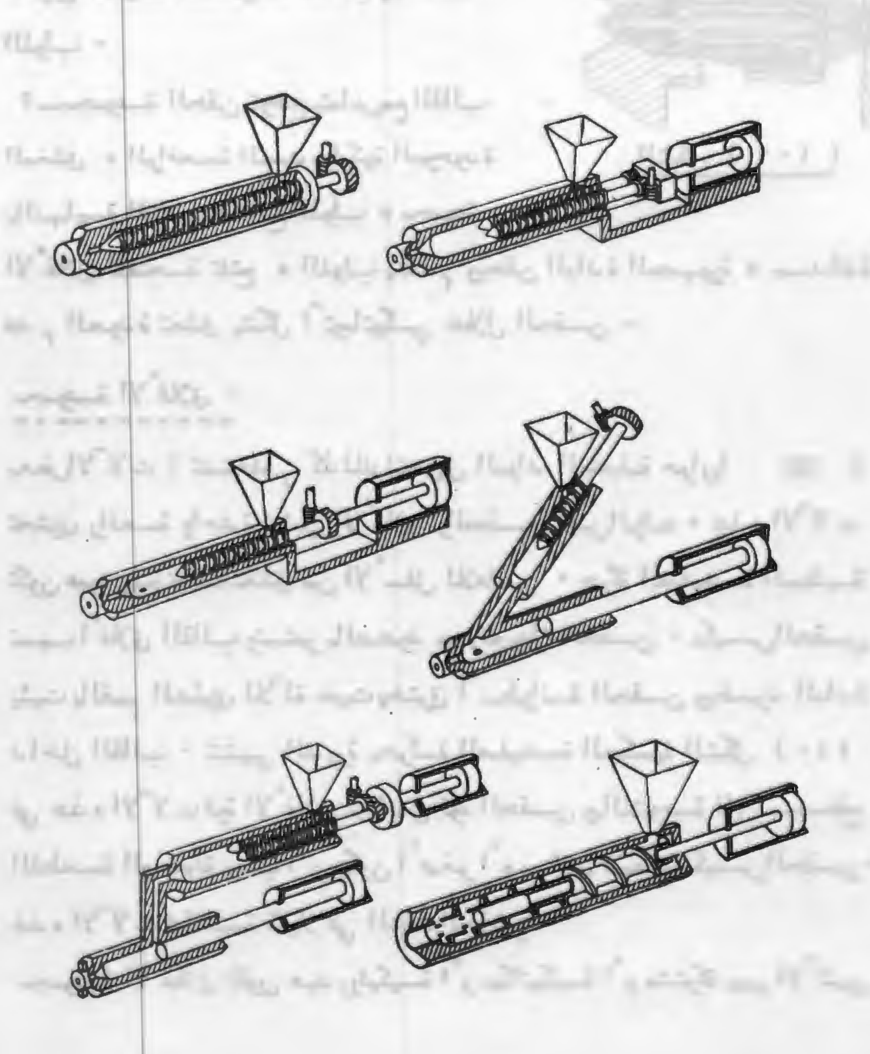
تطورت مجموعة الحقن بعد ذلك بحيث تم استعمال جسم باثق حيث اللولب يكون متحرك دورانيا لتلدين الحبيبات ولا داعي لانتقاله لطرد المادة المائعة والمتجانسة داخل القالب ، الشكل ( ١٠٨ ) بحيث تزود الفتحة أو أنبوب بجهاز للاغلاق الشكل ( ١٠٩ ) ويزود اللولب بنهايته بسدادة

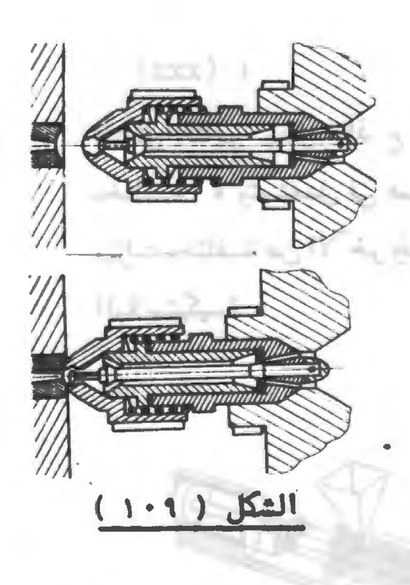



الشكل ( ١٠٨ )

(xxx) :

الشكل التالي يمثل نماذ ج مختلفة للولب التلدين المسبق وبأوضاع مختلفة ، وتستعمل في عمليات حقن القوالب حيث كل منها لـه ميزات مختلفة عن الآخر وغالبا يناسب أنواع معينة من المواد البلاستيكية :





الشكل ( ١٠٩ )

عدم عودة لمنع المادة من الجريان بالاتجاه المعاكس داخل تجويف اللولب •

عملية الحقن تتم بالشكل التالي :

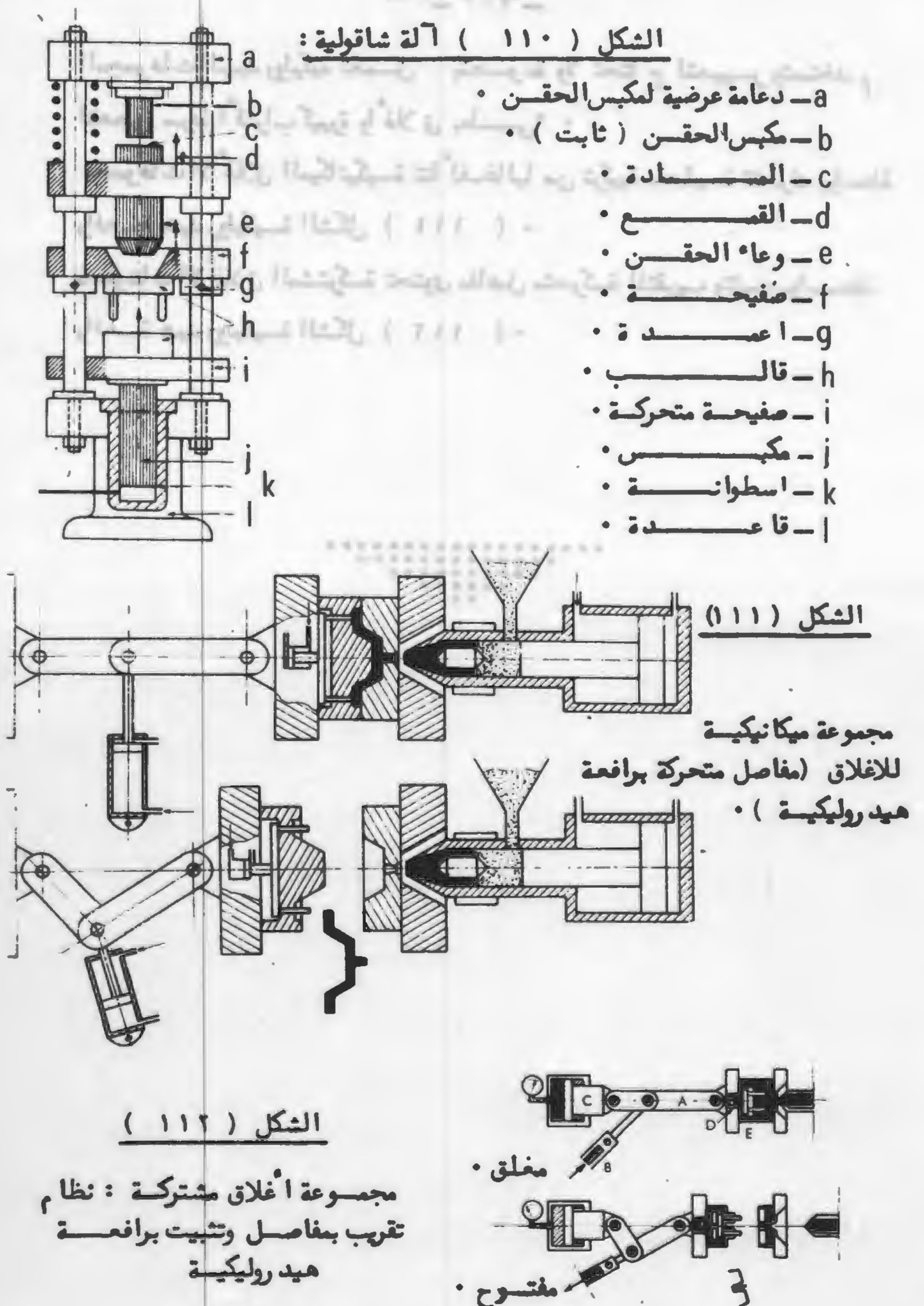
١ـ اللولب يدور والمادة تنتقل لمقدمة الباثق خلال تراجع اللولب ، حتى يتم تخزين الكمية المطلوبة للقالب بمقدمة اللولب •

٢ـ مجموعة الحقن توضع بتماس مع القالب المغلق ، الرافعة الهيدروليكية الموجودة بالنهاية الثانية تدفع اللولب ، مجموعة الاغلاق للفتحة تفتح ، اللولب يتقدم ويحقن المادة المصهورة ، سدادة عدم العودة تغلق بشكل اتوماتيكي خلال الحقن •

مجموعة الاغلاق :

بعض الآلات ( تستخدم كذلك لتحويل المواد المتصلبة حراريا TD ) تحتوى رافعة واحدة تؤمن الاغلاق والحقن بنفس الوقت • هذه الآلات تكون عمودية حيث تغلق من الاسفل للاعلى • حركة الصفيحة السفلية تسبب اغلاق القالب وتستمر بالصعود مع رفع وعاء الحقن • مكبس الحقن يثبت بالقسم العلوى للآلة حيث يخترق اسطوانة الحقن ويطرد المادة داخل القالب • تنتهي الدورة بحركة الصفيحة العكسية الشكل ( ١١٠ ) • في هذه الآلات قوة الاغلاق تعادل قوة الحقن وبالنتيجة فان سطح القطعة المحقونة يجب ان يكون اصغرا ومساوى لسطح مكبس الحقن • هذه الآلات شائعة قليلا في الوقت الحاضر •

مجموعة الاغلاق تكون هيدروليكية او ميكانيكية او مشتركة بين الاثنين •




**الشكل ( ١١٠ ) آلة شاقولية :**

a ـ دعامة عرضية لمكبس الحقن ٠
b ـ مكبس الحقن ( ثابت ) ٠
c ـ المسادة ٠
d ـ القمع ٠
e ـ وعاء الحقن ٠
f ـ صفيحة ٠
g ـ اعمدة ٠
h ـ قالب ٠
i ـ صفيحة متحركة ٠
j ـ مكبس ٠
k ـ اسطوانة ٠
l ـ قاعدة ٠

**الشكل ( ١١١ )**

مجموعة ميكانيكية للاغلاق (مفاصل متحركة برافعة هيد روليكية ) ٠

**الشكل ( ١١٢ )**

مجموعة اغلاق مشتركة : نظام تقريب بمفاصل وتثبيت برافعة هيد روليكية

المجموعات الهيدروليكية تعمل بنعومة ولا تحتاج لتعيير وتستخدم لتعطي سرعة اقتراب كبيرة واغلاق بطيء .

مجموعات الاغلاق الميكانيكية تتألف غالبا من تركيبة مفصلية تتحرك بواسطة رافعة هيدروليكية الشكل ( ١١١ ) .

مجموعات الاغلاق المشتركة تحتوى مفاصل متحركة للتقريب وتثبت بواسطة رافعة هيدروليكية الشكل ( ١١٢ ) .

•••••••••••••••••••••••<br>••••••••••••••••<br>••••••••••<br>••••••<br>••

٢ - الآلات والمعدات المستخدمة لعملية البثق : ( البلاستيك الحرارى ) :

٦ـ ٦لات البثق : تتميز ٦لات البثق بالمجموعات المستخدمة لتأمين المزج والتحويل للمادة المبثوقة . هناك ٦لات أحادية ، ثنائية أو ثلاثية اللولب. بالاضافة لذلك فقد استخدمت آلات بثق بمسننات . ٦لات البثق بلولب تكون غالبا أفقية ولكن هناك ٦لات عمودية و٦لات ذات طوابق .

١ـ ٦لات بثق أحادية اللولب :

معظم هذا النوع من الآلات يتضمن عناصر تسخين كهربائية أو جريان زيت يلعب دورا اساسيا في التلدين الحرارى للحبيبات . في بعض ٦لات البثق العاملة بمبدأ العزل الحرارى فان الحرارة الضرورية للتهلم gélification تنتج فقط الاحتكاك وهذه الآلات نادرة .

تحدد خواص ٦لة البثق الاحادية اللولب بالعديد من العوامل من أهمها قطر اللولب ( D )وطوله الذى يعطى بدلالة قطره . قطر لولب الآلات الحالية يتراوح بين ٣٠ـ٢٥٠ مم وطولها يتراوح بين ( ١٥ـ٣٥ × القطر) التطور الحديث بمجال ٦لات البثق الأحادية اللولب يتعلق بطول وتصميم اللولب وكذلك بسرعة دورانه الذى ازداد ، وسنأتي فيما بعد على دراسة أكثر تفصيلا لهذه الآلات الأحادية الأكثر انتشارا .

٢ـ ٦لات بثق بلولبين :

هذه الآلات تستطيع ، بعكس الآلات الأحادية ، تصنيع جميع المواد بنموذج واحد للولب . العمل الطبيعي في كل ٦لات البثق يولد قوى محورية كبيرة على اللولب ، فتتحمل المصادم (الكتوف) ذات الملفات الكبيرة هذه القوى . من الصعب وضع المصادم بمكانها في ٦لات البثق المتعددة اللوالب ، حلت هذه المشكلة بشكل مرضي وذلك باستعمال مصادم على شكل طوابق أو مزاحة بشكل منسجم مع عدم المحاذاة المحورى الطفيف .

اللوالب تدور بنفس الاتجاه أو باتجاه معاكس تبعا لماركة آلة البثق . هذه الآلات أقل صلابة بصورة عامة لكن قدرتها على التلدين أكبر من الآلات الأحادية اللولب .

٣ـ آلات البثق الثلاثية أو الرباعية اللولب :

هذه الآلات أنتجت وسوقت تجاريا الا أنها قليلة الانتشار في الوقت الحاضر.

٤ـ آلات بثق مسننة :

في الحقيقة أن هذه الآلات مهيئة لتعمل كخلاط أكثر من عملها كمنتج للبروفيلات وهي مكونة من عدة سلاسل من المسننات الحلزونية تتوضع شاقوليا داخل جسم كتيم مسخن بواسطة جريان زيت . الآلة تتغذى من القسم العلوي ، فتدخل بواسطة السلسلة الأولى من المسننات وتحمل بالتتابع بواسطة السلاسل الأخرى حتى المصفاة الواقعة بالجزء السفلي للجسم . نسبة الضغط تعتمد على علاقة خطوة الجريدة المسننة ، الخطوة التي تتناقص بين المدخل والمخرج ، الشكل (١١٣) .

(١)

(٢)

(٣)

(٤)

الشكل (١١٣)

١ـ تغذية الآلة .
٢ـ مسننات .
٣ـ تسخين بواسطة جريان الزيت.
٤ـ المخرج .

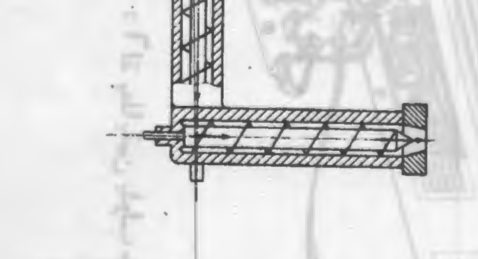
٥ـ آلة بثق شاقولية :

في معظم آلات البثق التي رأيناها سابقا كان اللولب وغلافه أفقيين . عندما تستخدم هذه الآلات لصناعة شريط بواسطة البثق ـ النفخ فيفضل بصورة عامة وضع الركيزة

شاقوليا ، ويجب وصل المخرج بآلة البثق بواسطة رأس بزاوية قائمة مع كل المساوئ الناتجة عن تغير اتجاه جريان المادة المصهورة . آلة البثـــق العمودية تشغل مساحة أقل على الأرض .

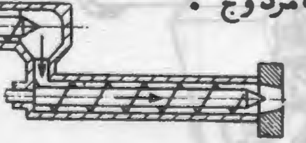
## ٦ـ آلات البثق ذات الطوابق : ( الشكل ١١٤ ) :

من أجل زيادة طول الجزء الملدن فقد تم انتاج آلات بثق أحادية اللولب تدعى ( L ) ، تتألف من جسم شاقولي للبثق يغذى من الأعلى بواسطة قمع ويتصل من الأسفل بجسم آخر متعامد عليه كما بالشكل ( ١١٥ ) .
هناك أيضا آلة بثق بلولب مزدوج حيث يكون الطابقين متوازيين وفوق بعضهما كما بالشكل ( ١١٦ ) .



الشكل ( ١١٥ )

آلة بثق ذات طوابق ، بلولب على شكل L .



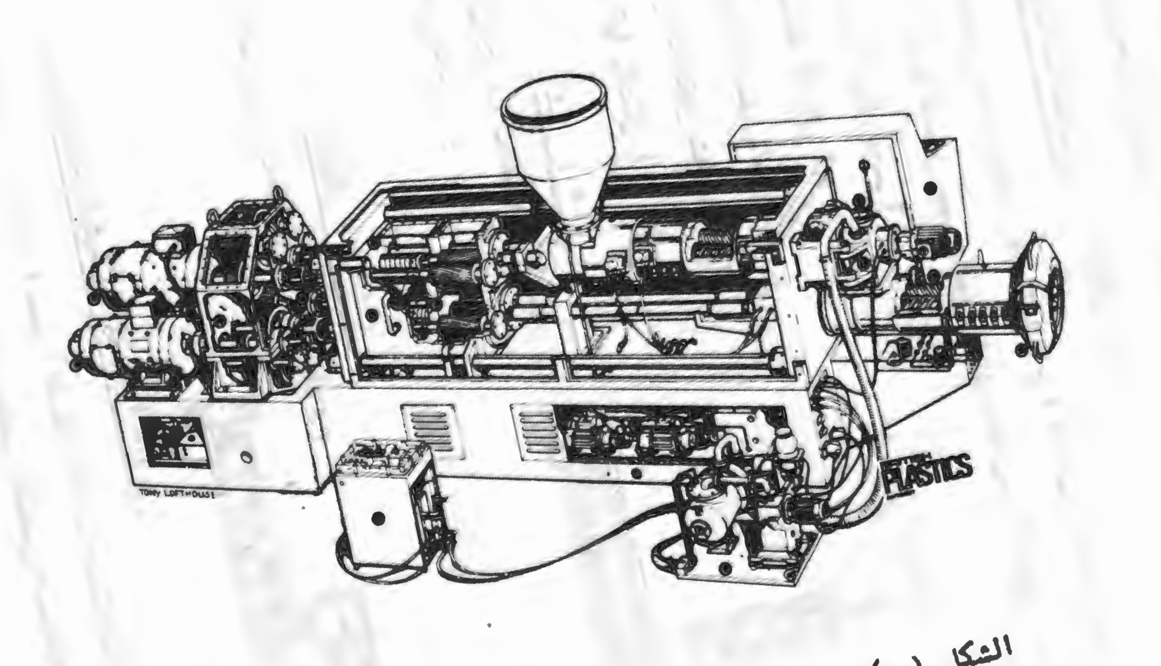
الشكل ( ١١٦ )

آلة بثق ذات طوابق ، لولب مزدوج .

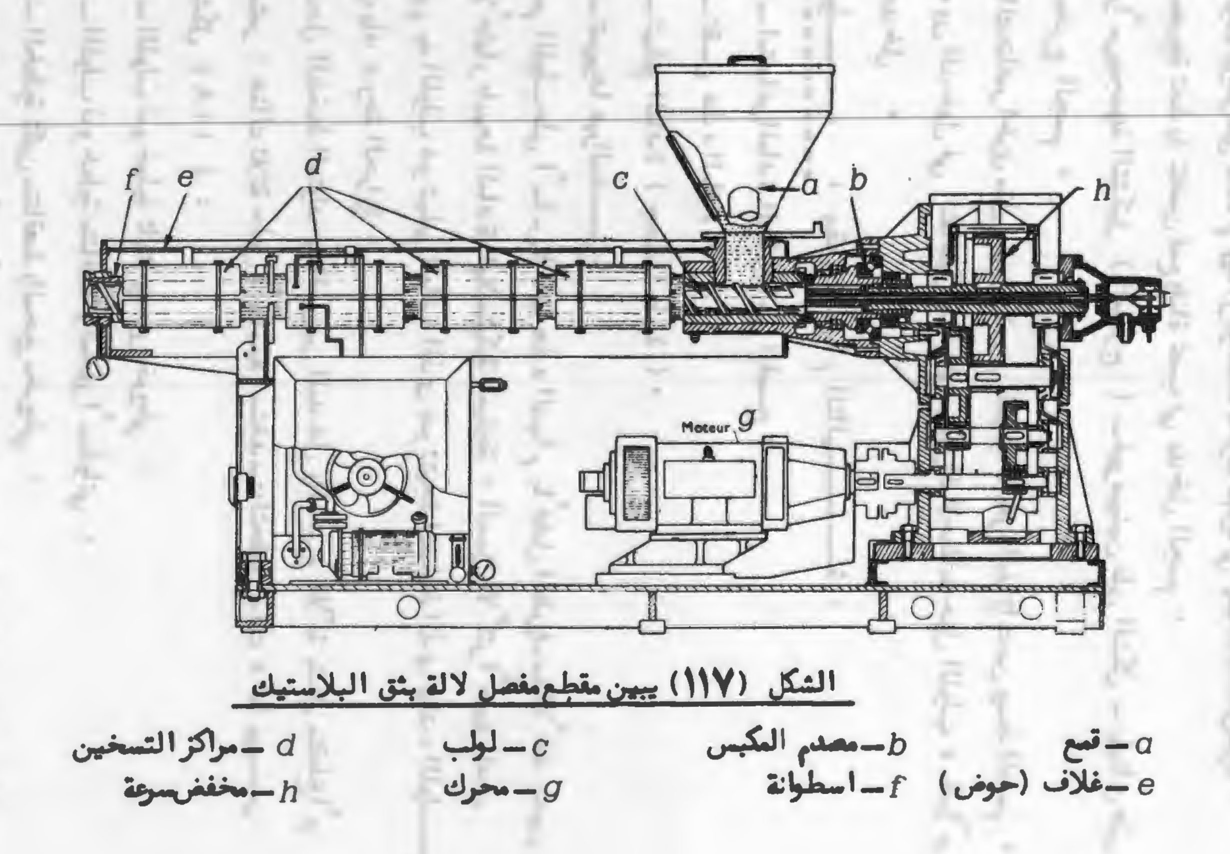
## ب ـ العناصر الرئيسية لآلة بثق أحادية :

الشكل ( ١١٧ ) يبين آلة بثق احادية حديثة وتتألف من :

ـ هيكل يحمل جسم محاط بعناصر التسخين حيث نلاحظ عدة نقاط للتعيير الحراري .




الشكل ( ١١٤ ) : آلة بطابقين بلولب مزدوج للبثــــق .




الشكل (١١٧) يبين مقطع مفصل لآلة بثق البلاستيك

a — قمع
b — مصدم المكبس
c — لولب
d — مراكز التسخين
e — غلاف (حوض)
f — اسطوانة
g — محرك
h — مخفض سرعة

- لولب يرتكز على مصدم ويدار بواسطة محرك كهربائي يتبعه مخفض سرعة .
- مجموعة تغذية تتضمن قمع وقناة تصب في مدخل الجسم .
- رأس ومجموعة التشكيل ( المخرج ) - غير مبينين على الشكل - يثبتان على مخرج الجسم .

هناك عناصر اخرى مثل مجموعة تبريد اللولب ، مفرغ الغازات من وسط الجسم .... وبدون الدخول في التفاصيل سنعطي بعض الملاحظات حول اللولب ، الرأس والمدخل .

اللولب : يقوم بالمهام التالية :

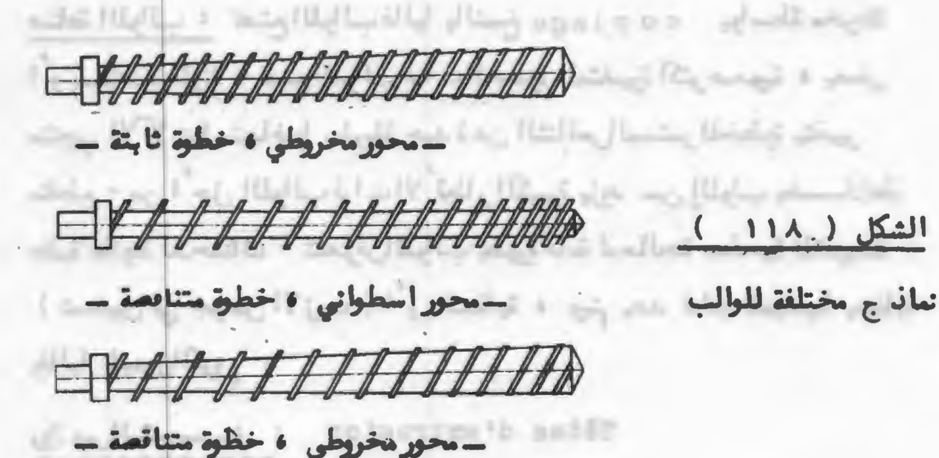
١- امتصاص المادة الخارجة من القمع .
٢- نقل هذه المادة .
٣- تهليم المادة ( جعلها طرية ) .
٤- تمريرها عبر المخرج .

يصمم اللولب على أساس تأدية هذه المهام بأفضل الظروف مع الأخذ بعين الاعتبار طبيعة المادة البلاستيكية المبثوقة . العمل الأكثر أهمية الذى يقوم به اللولب هو تهليم المادة الذى هو نتيجة الضغط الذى يولده اللولب ، ازدياد درجة الحرارة .

نجعل الضغط المتولد يتناقص بين المدخل والمخرج للآلة بشكل متقطع أو مستمر . هناك ثلاثة حلول أساسية استخدمت لتحقيق ذلك ، كما يبين الشكل ( ١١٨ ) :

١- اللولب ذو خطوة ثابتة ومحور مخروطي .
٢- اللولب ذو خطوة متناقصة والمحور أسطواني .
٣- الخطوة تكون متناقصة والمحور مخروطي .

تصميم اللولب يجب أن يأخذ بعين الاعتبار بصورة خاصة عامل التقلص للمادة

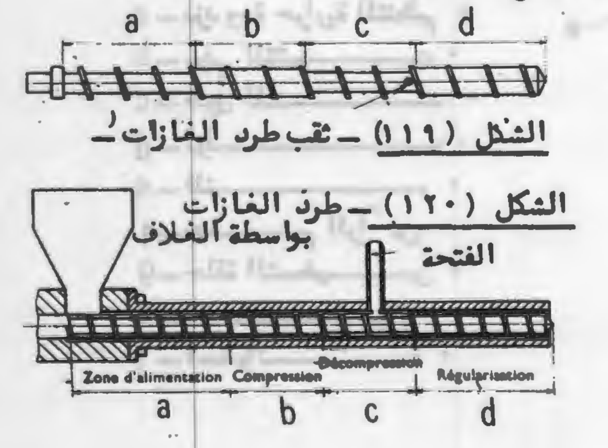



الشكل ( ١١٨ )

نماذ ج مختلفة للوالب

المبثوقة أي العلاقة بين الكتلة الحجمية للبروفيل والكتلة الحجمية الظاهرية للحبيبات ٠

طرد الغازات : وجود آثار الرطوبة وتشكل الغاز يؤدى الى انتاج بروفيلات غير صالحة ، ولحل هذه المشكلة صنعت نماذ ج مختلفة من اللوالب بشكل تسمح بتخلية الغاز بفضل ثقب قطرى داخل اللولب في منطقة عدم الضغط décompression كما في الشكل ( ١١٩ ) ٠ عدة نماذ ج من آلات البثق تشتعمل فتحة اضافية موجودة داخل الاسطوانة تقوم عند الاقتضاء بعملية التخلية وذلك لتحسين الانتاج كما بالشكل ( ١٢٠ ) ٠




الشكل ( ١١٩ ) - ثقب طرد الغازات -

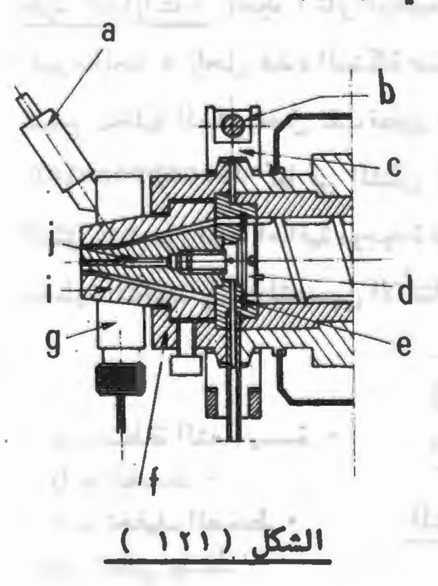
الشكل ( ١٢٠ ) - طرد الغازات بواسطة الغلاف

a - منطقة التغذية ٠
b - الضغط ٠
c - تخفيف الضغط ٠
d - تنظيم وضبط ٠

<u>صناعة اللوالب :</u> تصنع اللوالب غالبا بالنسخ copiage بواسطة مخرطة أو بمساعدة فارزة . صنع اللوالب ذات الخطوة المتغيرة أكثر صعوبة ، بعض منتجي الآلات استعاضوا بطريقة جيدة عن التناقص المستمر للخطوة بتغير متقطع . من أجل اللوالب ذات الأقطار الكبيرة يزود سن اللولب بخلائط صلبة مقاومة للاحتكاك . تتعرض اللوالب بصورة عامة لمعالجة سطحية للتقوية ( تسخين في جو من الازوت ) أو بالسقاية ، ويتم بعد ذلك تلميعها بعناية وغالبا تلبس بالكروم .

<u>رؤوس البثق :</u> Têtes d'extrusion

رأس البثق هو مجموعة ميكانيكية مثبتة بنهاية الآلة بمساعدة عزقة ، مجموعة بشكل حرية ، بواسطة حلقة شد أو عروة تثبيت . رأس آلة البثق يحتوي شبكة للضغط المعاكس ، أحيانا منخل معدني لزيادة تجانس المادة ، حامل للمخرج ، المخرج . رؤوس آلات صنع الأنابيب تتضمن كذلك ركيزة وحامل لهذه الركيزة . الشكل ( ١٢١ ) .



<u>الشكل ( ١٢١ )</u>

a - مزدوجة حرارية للتنظيم .
b - برغي للتثبيت .
c - طوق للشد .
d - لولب .
e - فلتر .
f - جسم الرأس .
g - حلقة التسخين .
i - المخرج .
j - اسطوانة .

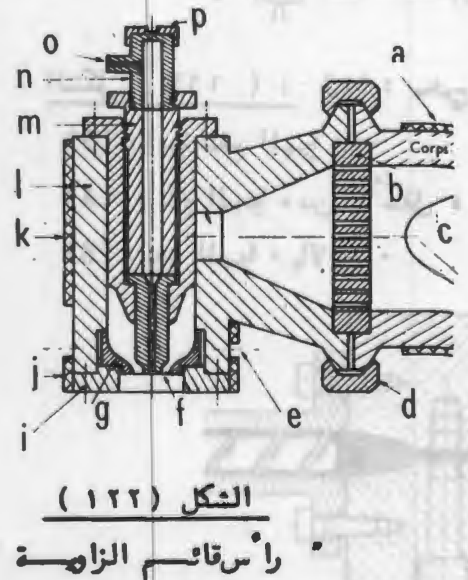
الرأس والمخرج مزود من بطوق للتسخين ومأخذ حرارية مستقلة . رؤوس الآلات تصنع من الفولاذ المعالج الغير قابل للصدأ . السطح الملامس للمادة المبثوقة يكون مطلي بالكروم .

تختلف الرؤوس عن بعضها بشكلها وأبعادها ومعداتها المتعلقة بالآلة وبالبروفيل المنتج . يمكن تمييز نوعين من الرؤوس بشكل عام :

١ـ الرؤوس المستقيمة : الشكل ( ١٢١ ) حيث المحور يتطابق مع محور اللولب وتستخدم لانتاج البروفيلات الغير مجوفة أو الانبوبية الشكل .

٢ـ الرؤوس الزاوية : الشكل ( ١٢٢ ) حيث البروفيل لا يخرج بنفس اتجاه محور اللولب ( الزوايا المختارة ١٢٠° ـ ١٣٥° م ) والزاوية ٩٠° م من أجل الرأس القائم المستخدم غالبا . هذه الرؤوس تستخدم لانتاج الكابلات الكهربائية وبصورة عامة البروفيلات المختلفة .

يجب الاشارة الى أن الرؤوس باهضة الثمن وتصنيعها يحتاج الى خبرة جيدة ودقة كبيرة .

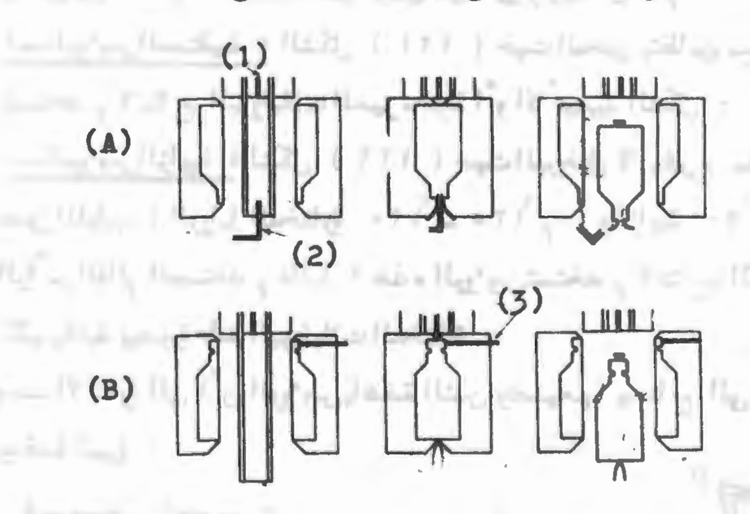



a ـ مسخن الجسم .
b ـ فلتـــر .
c ـ لولـــب .
d ـ حلقة شـــد .
e ـ برغي لضبط المركز .
f ـ دليـــل .
g ـ المخـــرج .
i ـ عزقة شد المخرج .
j ـ مسخن المخـــرج .
k ـ مسخن الرأس .
l ـ جسم الرأس .
m ـ لولب شد الدليل .
n ـ مجموعة طرد الغازات .
o ـ قناة تتصل بمضخة لسحب الغازات .
p ـ وصلة (جوان) كاوتشوك .

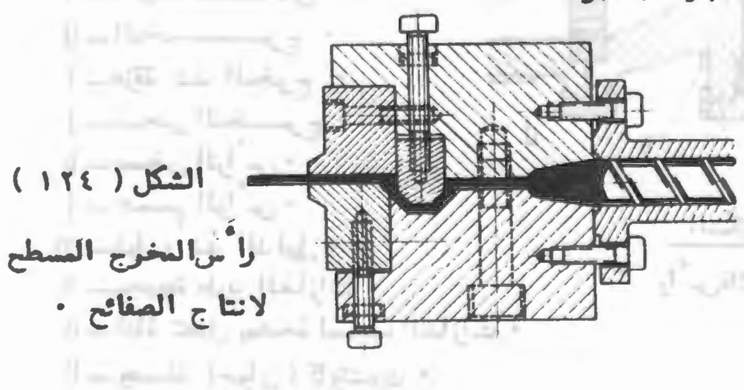
الشكل ( ١٢٢ )

" رأس قائم الزاوية "

تستخدم الرؤوس القائمة الزاوية كذلك من أجل انتاج الأشرطة والأغلفة الرقيقة ، هذا وأن طريقة البثق ـ النفخ تسمح بانتاج أجسام مفرغة بالنفخ من أنبوب داخل القالب ، الشكل ( ١٢٣ ) .
الأشرطة والصفائح يمكن أن تنتج بواسطة رأس مسطح ، الشكل (١٢٤) .




الشكل ( ١٢٣ ) : (1) : مخرج للهواء . . (2) : حقن الهواء .
(3) : ابرة لنفخ الهواء .
(A) : نفخ الهواء من الأسفل ، ويمكن أن يكون من الأعلى .
(B) : نفخ الهواء بالابرة .



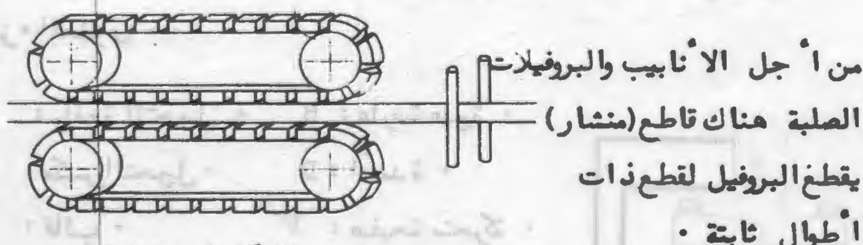
الشكل ( ١٢٤ )
رأس المخروج المسطح لانتاج الصفائح .

**القطـــــع الاضافيــة : Accessoires**

لكل آلة من الآلات قطع اضافية تختلف حسب المواد المنتجة ، فعند مخرج آلة البثق يصبح البروفيل الناتج على مسؤولية معدات معقدة وهذا يعتمد على البروفيل المنتج نفسه .

مثلا : المجموعات الاضافية من أجل انتاج الأنابيب تتضمن مايلي :

١ ـ مجموعة معايرة .
٢ ـ حوض تبريد .
٣ ـ مجموعة جر (سحب) غالبا تكون بجنازيـــر ، الشكل ( ١٢٥ ) .
٤ ـ ملفات أو دواليب للتخزين .



الشكل ( ١٢٥ )

من أجل الأنابيب والبروفيلات الصلبة هناك قاطع (منشار) يقطع البروفيل لقطع ذات أطوال ثابتة .

من أجل الأشرطة الأحادية من PEhd أو من PP فتصنع بمساعدة آلة بثق حيث الرأس القائم ينتج شريط مسطح مبرد ومقطع . هذا المنتج يمر فوق قرصين للتنعيم تدور بسرعات مختلفة بشكل يسبب عملية السحب الهامة والتي تتلوها عملية اللف والتخزين .
انتاج الأنابيب هام جدا لعملية البثق والشكل بالصفحة ( ٢١٣ ) يعطي مثال للتجهيزات الكاملة مخصصة لبثق أنابيب الـ PVC . مثل هذه التجهيزات تتضمن التموين ، معايرة الكميات اتوماتيكيا ، المزج الاتوماتيكي ، الخلاطات ، آلات البثق والتجهيزات اللازمة لعمليات السحب والتخزين .

## ٣ ـ آلات تصنيع المواد البلاستيكية المتصلبة حراريا TD :

### ١ ـ آلات الضغـــــط : Presses de compression

تتكون بشكل أساسي من صفيحتين متحركتين الواحدة نحو الثانية ، اما بواسطة مجموعة ميكانيكية ( مفصلة متحركة ) أو بصورة عامة بواسطة مجموعة هيد روليكية ( رافعـــة ) • الرافعة الهيد روليكية يمكن أن تقاد بواسطـــة مضخة مستقلة أو بواسطة مدخرة Accumulateur تغذى بطارية الآلة •

آلات الضغط الهيد روليكي تشبه آلات التحويل ، الشكل ( ١٢٦ ) مـــع استثناء رافعة التحويل • رافعة الاغلاق موضوعة على الجزء السفلي أو الجزء العلوى •

A : رافعة التحويل • B : عارضة علوية •

C : مكبس التحويل • D : أعمدة •

E : قالب • F : صفيحة متحركة •

G : صمام التحويل • H : صمام الاغلاق •

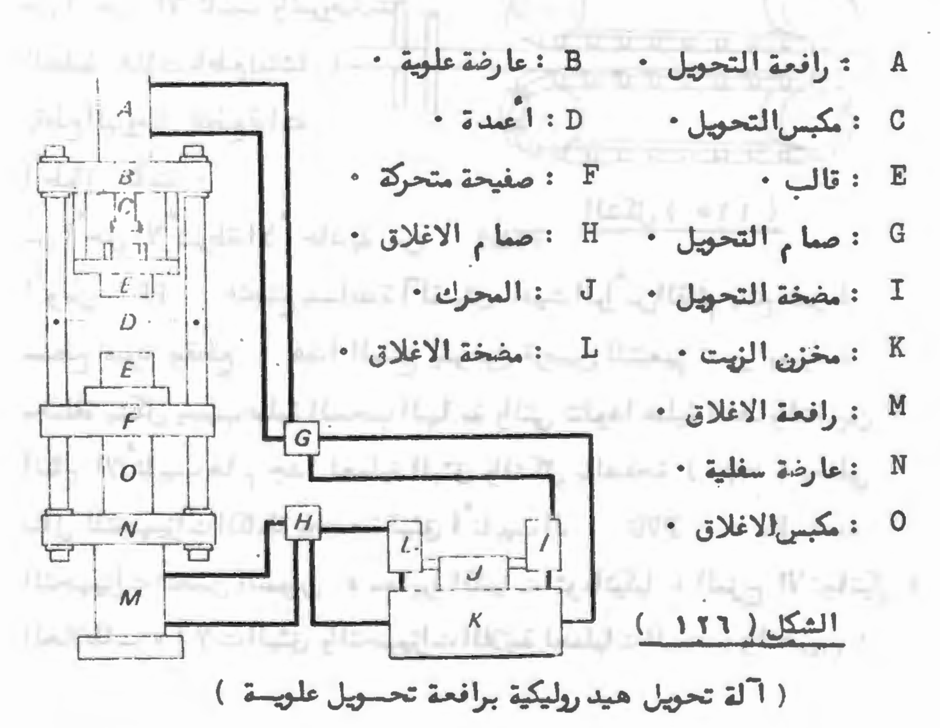
I : مضخة التحويل • J : المحرك •

K : مخزن الزيت • L : مضخة الاغلاق •

M : رافعة الاغلاق •

N : عارضة سفلية •

O : مكبس الاغلاق •




الشكل ( ١٢٦ )

( آلة تحويل هيد روليكية برافعة تحـويل علويـــة )

الهياكل (البنية) تكون :

١ ـ بشكل عنق طويل يعطي ولوج سهل للصفائح •

٢ ـ أعمـــدة •

٣ ـ صفوف تتألف من صفيحتين مقطعة ومجتمعة باللحام بمساعدة كتلـــة مقولبة تستعمل كدليل للصفائح •

٤ ـ حلقة معدنية مع كتلة احادية تنتج بالقولبة • هذا الحل هو الأكثر صلابة لكنه باهظ التكاليف وانتشاره قليل •

من أجل تسهيل تخلية الهواء ، فانه من المفضل استخدام سرعة انغلاق مخفضة حوالي ( $0,5x10^{-2}m/s$ ) بنهاية الدورة • كذلك من أجل تجنب تلف القطع عند اخراجها من القالب ، سرعة الفتح يجب أن تكون حـــوالـــي $2-10 \times 10^{-2}$ m/s •

آلات الضغط اليدوية وآلات الضغط النصف اتوماتيكية :

آلات الضغط النصف اتوماتيكية هي آلات بها الدورة معقدة ، تعمل اتوماتيكيا بعد تحميل القالب وبدء الدورة بواسطة العامل •• الجدول رقم ( ٢٣ ) يعطي الخواص لعدد محدد من آلات الضغط اليدوية والنصف اتوماتيكيــة المستخدمة حاليا • الجدول رقم ( ٢٤ ) يعطي خواص آلات التحويل والتي يمكن استخدامها للقولبة بالضغط ، في هذه الحالة رافعة التحويل تكون غالبا نافذة ( لافظة للقطعة المنتجة ) •

آلات الضغط الاتوماتيكيـــة :

آلات الضغط الاتوماتيكية تعمل بدون تدخل العامل سوى لتعبئة القمع ومراقبة العيارات •

١ ـ آلات الضغط ذات الكميات الحجمية :

الجدول رقم ( ٢٥ ) يعطي خواص هذه الآلات •

الجدول رقم ( ٢٣ )

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| قوة الاغلاق : $10^3$ daN | 10 | 100 | 300 | 600 |
| ضغط الزيت MPa | 30 | | | 34 |
| أبعاد الصفائح mm | 200x200 | 550x450 | 745x800 | 850x800 |
| شوط الفتح mm | 170 | 265 | 700 | 740 |
| المسافة بين الصفائح mm | 325 | 365 | 1050 | 875 |
| سرعة التقريب $10^{-2}$ m/s | 10 | | | |
| سرعة الاغلاق $10^{-2}$ m/s | 1,2 | | | 0,3 |
| سرعة الفتح $10^{-2}$ m/s | 10 | | | 2 |
| قوة الفتح $10^3$ daN | 1,2 | | | 40 |
| قوة اللفظ $10^3$ daN | | | 20 | 50 |
| شوط القذف mm | | | | 100-150 |
| قوة المحرك $10^3$ w | 1,5 | 2,9 | 11 | 14,8 |
| قوة التسخين بالصفائح $10^3$ w | | | 15 | 18 |
| الكتلة Kg | 600 | 2000 | 7400 | 13500 |

- الجدول رقم ( ٢٣ ) يعطينا بعض الخواص لآلات التحويل المستخدمة بالضغط .
- اللفظ ، القذف معنى واحد مقصود به اخراج وقذف القطعة من القالب .

الجدول رقم ( ٢٤ )

| قوة الاغلاق $10^3$ daN | 40 | 100 | 400 | 1000 |
|---|---|---|---|---|
| ضغط الزيت MPa | | 14 | 14 | 14 |
| أبعاد الصفائح mm | 400x400 | 500x550 | 795x800 | 1280x 1650 |
| شوط الفتح mm | 315 | 500 | 850 | 1500 |
| المسافة بين الصفائح mm | 600 | 700 | 1300 | 22 0 |
| سرعة التقريب $10^{-2}$ m/s | 15 | | | |
| سرعة الاغلاق $10^{-2}$ m/s | 0,55 | | | |
| سرعة الفتح $10^{-2}$ m/s | 12 | | | |
| قوة الفتح $10^3$ daN | 5,6 | | | |
| قوة القذف $10^3$ daN | 2- 4 | 4 | 30 | 40 |
| شوط القذف mm | 60-150 | | | |
| قوة المحرك $10^3$ W | 3,5 | | | |
| قوة التسخين بالصفائح $10^3$ W | 3 | | | |
| الكتلة Kg | 2800 | 3000 | 11300 | 41500 |

- تابع - الجدول رقم ( ٢٤ ) - التحويل -

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| القوة $10^3$ daN | 16 | 20 | 65 | 150 |
| الشوط mm | 125 | 260 | 400 | 600 |
| قطر المكبس mm | 50 | | | |
| السرعة $10^{-2}$ m/s | 0,35 | | | |
| الحجم المتحول $cm^3$ | 50 | | 550 | |
| مكبس علوى | | | | |
| مكبس سفلي | x | x | x | x |

الجدول رقم ( ٢٥ )

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 350 | 150 | 60 | 30 | قوة الاغلاق $10^3$ daN |
| 35 | | 30 | 30 | ضغط الزيت MPa |
| 990x800 | 590x710 | 500x500 | 450x480 | أبعاد الصفائح mm |
| 600 | 455 | 300 | 250 | شوط الفتح mm |
| 1000 | 975 | 600 | 500 | المسافة بين الصفائح mm |
| 4,3 | | 12,5 | 24 | سرعة التقريب $10^{-2}$m/s |
| 0,24 | | 0,45 | 0,8 | سرعة الاغلاق $10^{-2}$m/s |
| 4,8 | | 13,5 | 24 | سرعة الفتح $10^{-2}$m/s |
| 170 | 19,8 | 30 | 6 | قوة الفتح $10^3$ daN |
| 115 | 2 -3,5 | 25 | 18 | قوة القذف $10^3$daN |
| 200 | 100-200 | 140 | 160 | شوط القذف mm |
| | 5,5 | | | قوة المحرك $10^3$ W |
| | x | | | امكانية التسخين بأشعة تحت الحمراء . |
| 10000 | 7560 | 2200 | 1870 | الكتلة Kg |

٢ - آلات الضغط ذات الكميات الموزونة بواسطة ميزان ملحق :

الجدول رقم ( ٢٦ ) يعطي خواص هذه الآلات .

٣ - آلات الضغط الاتوماتيكية ذات الكميات والتسخين المسبق سوية :

آ - آلات ضغط اتوماتيكي ذات كميات حجمية وتسخين مسبق بواسطة انابيب واشعة تحت الحمراء ، موضوعة على طول دائرة توزيع المادة .
الجدول رقم ( ٢٥ ) يعطي خواص هذه الآلات لقوى الاغلاق التالية : 60 , 80 , 150 , $3000x10^3$ daN

ب - آلات ضغط اتوماتيكية ذات كميات وتسخين مسبق بواسطة مجموعة التلدين ( لولب + غلاف ) . الجدول رقم ( ٢٧ ) يعطي خواص هذه الآلات .

٤ - آلات ضغط اتوماتيكية خاصة ذات قوالب متعددة للقولبة بكميات كبيرة جدا للقطع الصغيرة : مثل مآخذ الكهرباء ، السدادات ......

آ - آلات ضغط اتوماتيكية ذات طاولة دوارة للعمل : القوالب تتقدم بالتناوب ( دوريا ) امام مركز الشحن الحجمي . التفاعل يتم خلال دوران الطاولة . في نهاية التفاعل تتوضع القوالب امام مجموعة تخلية لاخراج القطع . الجدول رقم ( ٢٨ ) يعطي خواص هذه الآلات .

ب - آلات ضغط اتوماتيكية بمراكز ثابتة : ويكون لها اربع مراكز مستقلة ، تقع بنفس الهيكل . الجدول رقم ( ٢٨ ) يعطي خواص هذه الآلات .

الجدول رقم ( ٢٦ )

| قوة الاغلاق $10^3$ daN | 10 | 30 | 50 | 80 |
|---|---|---|---|---|
| قوة المحرك $10^3$W | 0,85 | 0,85 | 1,30 | 1,45 |
| شوط الفتح mm | 130 | 190 | 220 | 300 |
| سماكة القالب الصغرى mm | 150 | 210 | 240 | 280 |
| سماكة القالب العظمى mm | 240 | 310 | 340 | 380 |
| أبعاد الصفائح mm | 340 x 340 | 400 x 400 | 450 x 500 | 450 x 500 |

الجدول رقم ( ٢٧ )

| قوة الاغلاق $10^3$ daN | 40 | 63 | 100 | 200 |
|---|---|---|---|---|
| قطر اللولب mm | 40 | 60 | 60 | 80 |
| شوط اللولب mm | 125 | 125 | 200 | 200 |
| الحجم $cm^3$ | 40-138 | 140-310 | 140-310 | 320-910 |
| حجم المادة نموذج P21 gr | 50-172 | 170-390 | 170-390 | 400-1140 |
| قوة المحرك $10^3$W | 2,2 | 2,2 | 3,7 | 3,7 |
| قوة التسخين $10^3$ W | 3 | 6 | 10 | 18 |
| قطر غرفة التحويل mm | 50 | 70 | 70 | 95 |

الجدول رقم ( ٢٨ )

| عدد مراكز العمل | 10 | 8 | 10 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| قوة الاغلاق لكل مركز x 1000 daN | 5 | 9. | 15 | 5 |
| الشوط mm | | 150 | 200 | 190 |
| قوة المحرك $10^3$ W | 4 | 3,7 | 5,5 | 4 |
| قوة تسخين الصفائح x1000 W | 2,5-1,8 | 2,4 | 4 | 0,45-0,3 |
| زمن التفاعل s | 28-90 | 20-130 | 45-240 | |
| ارتفاع القوالب الاصغري mm | | | | 185 |
| القطر الخارجي للقوالب mm | | 130 | 180 | |
| عدد طبعات القالب | 1-5 | 1-5 | 1-3 | 1 - 2 |
| القطر الاعظمي للقطعة المنتجة mm | 18-60 | 32-80 | 53-100 | |
| الارتفاع الاعظمي للقطعة المنتجة mm | | 65 | 80 | |
| كمية المادة gr | 15 | 75 | 80 | 3-24 |
| الكتلة للآلة Kg | 1800 | 2300 | 6400 | 1000 |
| ملاحظات عامة | | | | |

٢ ـ آلات التحـــويل : Presses de transfert

تكون آلات التحويل برافعتين ، واحدة من أجل الاغلاق rrouillage للقالب ، والثانية من أجل التحويل . قوة رافعــة التحويل بصورة عامة تكون 1/5 قوة رافعة الاغلاق . رافعة التحويل يمكن أن توضع على الجزء العلوي أو على الجزء السفلي من الآلة . الشكل السابـــق ( ١٢٦ ) يبين آلة تحويل ذات رافعة تحويل عليا .

آ ـ آلات التحويل اليدوية وآلات التحويل النصف اتوماتيكيــة ذات الرافعتين ، الجدول رقـم ( ٢٤ ) يعطي خواص هـــذه الآلات .

ب ـ آلات التحويل الاتوماتيكية : تستعمل بشكل مناسب للقطـــع الصغيرة ، ولها نموذجان :

ا ـ آلات التحويل الاتوماتيكية الأفقية ذات المكبس :

آلة Drabert DSP 50 مثلا ، كمية المادة توزن بالميزان ، والتسخين المسبق يتم بواسطة انبوب وأشعة تحت الحمراء تتوضع على طول دورة التوزيــع وتسقط بوعاء التحويل الأفقي . مكبـس ينقلها داخل القالب . المجموعة الأفقية تسهل اخلاء القطــع المنتجـــــــــة .

مواصفات هذه الآلة : لنأخذ المواصفات التقنية لهذه الآلة التي تمثل نموذج للآلات المماثلــة :

| | | |
|---|---|---|
| قـــوة الاغلاق | : | $52,5x10^3$ daN |
| قـــوة التحـــــويل | : | $25,7x10^3$ daN |
| السماكة الصغرى للقالـــب | : | 200 mm |

| | | | |
|---|---|---|---|
| السماكة العظمى للقالـــــب | : | mm | 300 |
| المجال بين الأعمدة (افقية × عمودية ) | : | mm | 240x140 |
| القطر الأعظمي للقالـــــب | : | mm | 250 |
| مشوار الفتـــــح | : | mm | 180 |
| قطـــر مكبس التحـــويل | : | mm | 40 - 60 |
| ضغط التحويل على المـــادة . | : | MPa | 90 - 200 |
| كتلة المادة المحولـــــة | : | gr | 60 gr |
| قوة المحـــــــرك | : | W | $5,5x10^3$ |
| ضغط الزيـــت | : | MPa | 21 |
| قوة التسخيـــــــن | : | W | $7,4x10^3$ |
| الكتلـــة ( الوزن ) | : | Kg | 1300 |

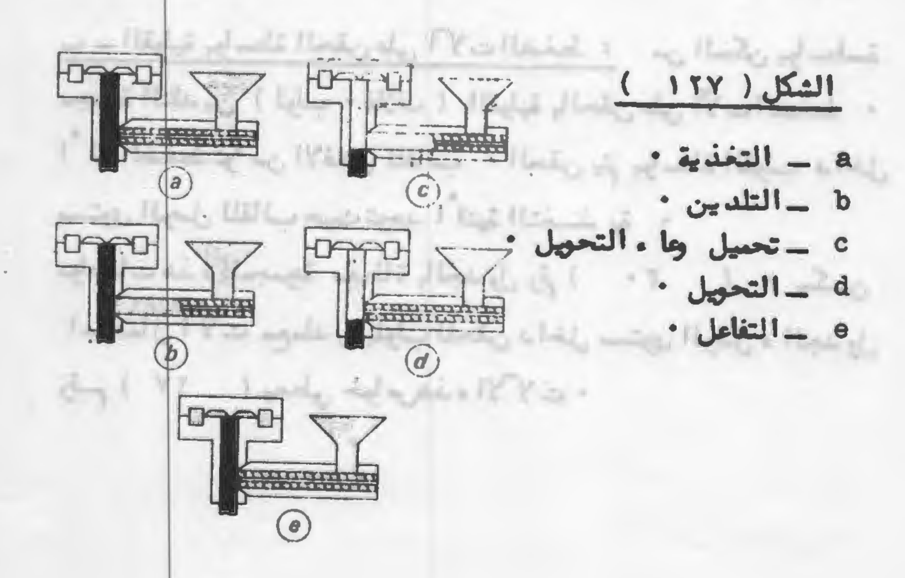
٢ ـ آلات التحويل الاتوماتيكية ذات الكميات المعايرة والتسخين المسبق بواسطة مجموعة التلدين (لولب + غلاف ) :

هذه الآلات تسمح بدورة قصيرة تماثل تقريبا زمن الدورة على آلات الحقن ، الكمية المحددة وذات التسخين المسبق داخل الغلاف تدفع بواسطـــة اللولب داخل وعاء التحويل . الآلة تعمل مثل آلة تحويل عاديـــة . الشكل ( ١٢٧ ) يبين آلة نموذج Injectoset Modèle 751.125 خواصها التقنية كالتالــــي :

| | | | |
|---|---|---|---|
| قوة الاغـــــلاق | : | daN | $125x10^3$ |
| مشوار الفتـــــح | : | mm | 195 |
| الأبعاد بين الأعمـــدة | : | mm | 615x380 |
| أبعاد القالـــــب | : | mm | 610x505 |

| | | |
|---|---|---|
| السماكة الصغـــــــــرى للقالب : | mm | 590 |
| السماكة العظمـــــــى للقالب : | mm | 670 |
| مشوار لافظ القطعة الهدروليكي العلوى : | mm | 115 |
| قوة لفظ القطعـــــــة : | daN | $6x10^3$ |
| قدرة التحويـــــــل : | $cm^3$ | 490 |
| قطر مكبس التحويل ولولب التلدين : | mm | 44 |
| ضغط التحويل على المـــادة : | MPa | 110 |
| مشوار التحويـــــــل : | mm | 363 |
| استطاعة المحـــــرك : | W | $15x10^3$ |
| الكتلـة ( وزن الآلة ) : | Kg | 7050 |

يمكن استخدام الآلات ذات الملدن بلولب للقولبة بالتحويل الاتوماتيكي • خواص هذه الآلات معطاة بالجدول رقم ( ٢٧ ) •



الشكل ( ١٢٧ )

a ـ التغذية •
b ـ التلدين •
c ـ تحميل وعاء التحويل •
d ـ التحويل •
e ـ التفاعل •

٣ ـ آلات الحقـــــن : Presses d'injection

أ ـ آلات الحقن العادية : هذه الآلات هي تقريبا نفسها المستخدمة لتصنيع البلاستيك الحرارى TP • الآلات المستعملة للقولبة بالحقن للمواد المتصلبة حراريا TD تختلف عن آلات TP بالأمور التالية :

١ ـ لولب بدون نسبة ضغط مع علاقة طول /قطر تساوى :
٢ ـ غياب السدادة الصمامية للاغلاق •
٣ ـ تسخين الغلاف يفضل بواسطة مائع لتجنب التسخين الذاتي •
٤ ـ مراقبة و معايرة دقيقة للضغط المعاكس •
٥ ـ مجموعة تثبيت و منع لدوران اللولب لتجنب الجريان المعاكس للمـــادة خلال الحقـــن •
٦ ـ تسخين كهربائي للقالب •

الجدول رقم ( ٢٩ ) يعطي خواص آلات الحقن الحالية لقولبة المواد المتصلبة حراريا •

ب ـ القولبة بواسطة الحقن على آلات الضغط : من الممكن بواسطـة مجموعة التلدين ( لولب + غلاف ) القولبة بالحقن على آلات الضغط • آلة الضغط تؤمن الاغلاق للقالب • الحقن يتم بواسطة اللولب داخل مستوى الوصل للقالب حيث توجد أقنية التغـذية •
مواصفات هذه المجموعة معطاة بالجدول رقم ( ٣٠ ) • يمكـن استعمال آلات مع ملدن بلولب للحقن داخل مستوى الوصل ، الجدول رقـم ( ٢٧ ) يعطي خواص هذه الآلات •

الجدول رقم ( ٢٩ )

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| قوة الاغلاق $10^3$ daN | 14 | 50 | 100 | 200 | 550 |
| شوط الفتح mm | 60-140 | 200 | 400 | 300 | 700 |
| سماكة القالب الصغرى mm | 110 | 100 | 301 | 100 | 400 |
| سماكة القالب العظمى mm | 160 | 230 | | 450 | 595 |
| المسافة بين الاعمدة الافقية mm | 115 | 282 | 410 | 425 | 680 |
| المسافة بين الاعمدة الشاقولية mm | | 130 | 300 | 425 | 530 |
| ارتفاع الصفائح الافقي mm | 204 | 430 | 600 | 660 | 1.040 |
| ارتفاع الصفائح الشاقولي mm | 100 | 380 | 490 | 660 | 890 |
| قوة اللفظ الميكانيكية $10^3$ daN | | 1,7 | | | 9 |
| قوة اللفظ الهدروليكية $10^3$ daN | | 2 | | 5 | 9 |
| شوط اللفظ mm | | | 110-120 | 60 | 300 |
| اغلاق مكبسي | | | x | | |
| اغلاق بالمفاصل | x | x | | x | x |

- تابع - الجدول رقم ( ٢٩ )

| قطر اللولب mm | 18 | 35 | 36-45 | 65 | 80 |
|---|---|---|---|---|---|
| الحجم النظري المحقون $cm^3$ | 15 | 120 | 200-315 | 565 | 1658 |
| الضغط على المادة MPa | 152 | 166 | 250-157 | 160 | 187 |
| شوط اللولب mm | 75 | | | | 330 |
| سرعة اللولب tr/min | 0-460 | | 62-205 | | 10-100 |
| عزم اللولب N.m | 60 | | 1200 | | |
| قدرة المحرك $10^3$ W | 4 | 7,4 | | 18,5 | 45 |
| قدرة تسخين القالب $10^3$ W | | 2 x 2 | 10 | 2 x 4 | 2 x 17 |
| قدرة تسخين الاسطوانة x1000 W | 2 x 0,65 | | 12 | | 13,5 |
| ضغط الزيت MPa | | | | | 14 |
| الكتلة Kg | 360 | 2600 | 4300 | 8300 | 18000 |
| | | | | | |

الجدول رقم ( ٣٠ )

| قوة آلة الضغط $10^3$ daN | 70 -110 | 140 -180 | 250- 350 |
|---|---|---|---|
| قطـر اللولب mm | 38 | 50 | 70 |
| القدرة النظرية للحقن $cm^3$ (١) | 176 | 500 | 1070 |
| ضغط الحقن علـى المادة MPa | 192 | 160 | 156 |
| مشوار اللولب mm | 155 | 250 | 280 |
| سرعة دوران اللولب tr/min | 40 - 140 | 40 - 140 | 40 - 120 |
| عزم اللولب N.m | 500 | 800 | 2260 |
| قدرة محرك اللولب x 1000 W | 2,2 | 4 | 11 |
| قدرة محرك المضخة x1000 W | 5,5 | 5,5 | 11 |
| قدرة تسخين الاسطوانة x1000 W | 3 | 6 | 6 |
| ضغط الزيت MPa | 14 | 14 | 14 |
| ارتفاع الانبوب mm | 940-1140 | 940-1140 | 1040-1290 |
| قوة الاستناد لكتلة الحقن daN | 4,5 | 4,5 | 6,5 |
| الكتلة Kg | 1200 | 1700 | 2500 |

( ١ ) : لحساب الكتلة المحقونة ، نأخذ كأساس الـ P 21 عند المخرج للانبوب ، الكتلة الحجمية 1 - 1,1 $g/cm^3$ .

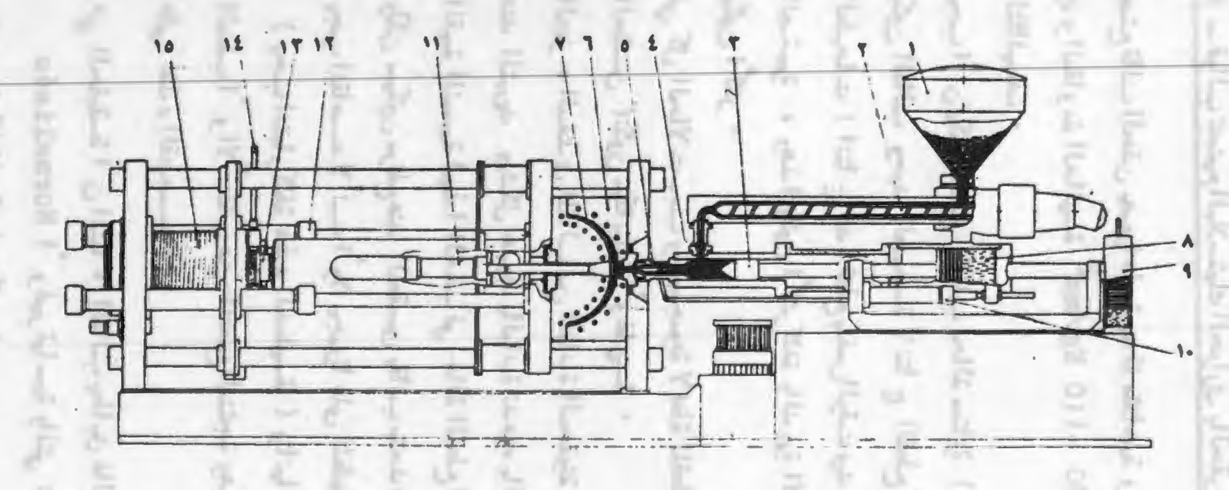
## البحـــــث الخامـــــس

## قوالـب انتاج المواد البلاستيكيـــــــة

قبل البدء بدراسة وتصميم أي مشروع انتاجي للمواد البلاستيكية يجب أن نفكر بالقوالب ( حالة الطرق الانتاجية التي تحتاج لقوالب ) ، ويؤخـــذ بعين الاعتبار أن ثمنها باهظ وتصنيعها يحتاج الى دقة كبيرة وخبرة ممتازة بالمواد البلاستيكية وكذلك لامكانيات جيدة ( وهذا غير متوفر دائما ) . من ناحية اقتصادية ، القالب الجيد هو الاقتصادي دائما لأن القالب يكلف مرة واحدة ، فلو قسمنا ثمن القالب على عدد القطع الممكن انتاجها خلال فترة خدمته لوجدنا أن تكاليفه على القطعة الواحدة ضئيلة جدا ، في حين أن القالب الذي لا تتوفر به الشروط الكاملة والجيدة يشكل عبئا في حالة تلفه (حياته وامكانية استخدامه تكون قصيرة ) ويصبح قطعة معدنية ليست بذات قيمة . بالاضافة لذلك لو قارنا المنتجات في الحالتين من ناحيـــة الجودة والخواص لوجدنا فرقا كبيرا وبالتأكيد هذا يؤثر بشكل كبير على التسويق .

في هذا البحث سنتناول باختصار كبير قوالب الحقن والتشكيل للبلاستيك الحراري TP وقوالب تصنيع البلاستيك المتصلب حراريا TD (حالات الضغط والتحويل والحقن) ، كما سنعطي فكرة عن تنظيم درجة الحرارة في القوالب والقواعد العامة لتصنيع هذه القوالب .

لأخذ فكرة عن الآلة والقالب سهية لنستعرض الشكل ( ١٢٨ ) الذي يبين آلة حقن ( تلدين مسبق ) مع قالب لانتاج قطع هلالية الشكل فنلاحـظ أن القالب والأجزاء المتممة له المستخدمة للتثبيت والمعايرة ... قـــد تفوق حجما للآلة نفسها .




**الشكل ( ١٢٨ ) : آلة حقن بضغط منخفض.**

١ ــ قمع التغذية . ٢ ــ اللولب . ٣ ــ مكبس اسطوانة التحويل . ٤ ــ صمام المعايرة .

٥ ــ الفوهة . ٦ ــ القالب . ٧ ــ القطع المراد انتاجها . ٨ ــ اسطوانة الحقن .

٩ ــ مكبس التلقيم (التغذية) . ١٠ ــ مجموعة تثبيت اسطوانات الحقن . ١١ ــ لافظة القطعة المنتجة .

١٢ ــ مثبت الاسطوانة . ١٣ ــ غشاء . ١٤ ــ أداة تحريك غشاء الاسطوانة . ١٥ ــ أداة ضبط .

١ — قوالب تصنيع البلاستيك الحراري بالحقن TP :

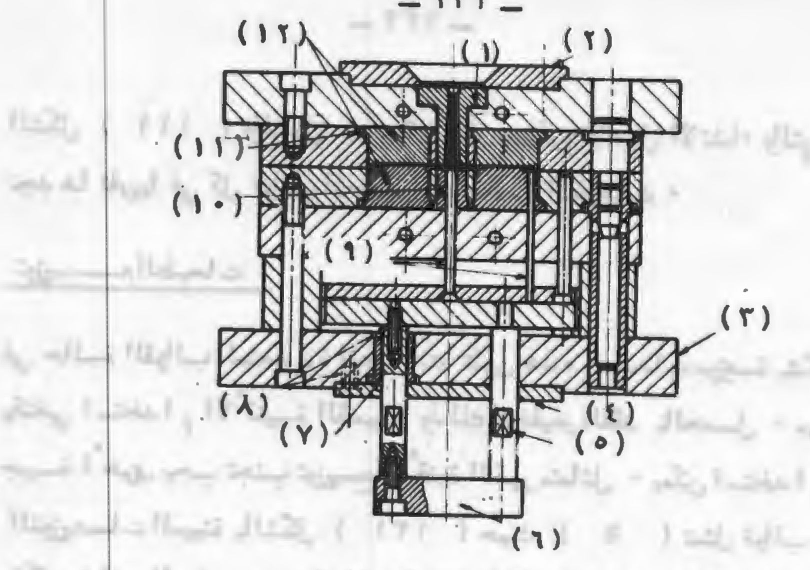
يصنع قالب الحقن بصورة عامة بدقة متناهية ومن الفولاذ الجيد المعالجة وذو المقاومة العالية $80-110\ Kg/mm^2$ ويكون غالبا باهظ التكاليف .

يجب أن يكون سطح القالب بحالة ممتازة ( ناعم كالمرآة ). يمكن أن يكون القالب وحيد الطبعة لانتاج القطع المتوسطة والكبيرة أو متعدد الطبعات ( انتاج عدة قطع بنفس الوقت وبدورة حقن واحدة ) للقطع الصغيرة ، وهذا يكون أكثر كلفة والدورة الانتاجية أطول ولكن الانتاج يكون أكثر .

في كل الحالات يجب وضع مجموعة لافظة للقطعة أو للقطع ( بعد اتمام الحقن ) تكون ميكانيكية أو غازية .

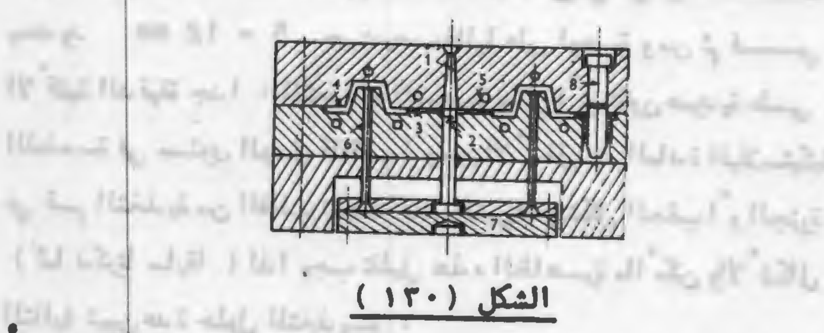
الجزء المغذى للقالب من المادة المحقونة بأقنية التغذية يتصلب عند التبريد وبشكل هبوط بالمادة ندعوه بالعقب أو الجزرة carotte القيمة النسبية لهذا العقب في حالة القطع الكبيرة لا يتجاوز 2-5 % ولكن سيكون مرتفع عند الحقن بقالب متعدد الطبعات وهذا يعتبر هدرا يجب انقاصه لأنه أولا يجبرنا على تنظيف مكانه لاعادة الاستعمال ( يجب اعتبار كلفة هذه العملية ) وثانيا لأنه يجب فصل هذا العقب أو الأعقاب عن القطع المنتجة وهذه العملية تترك أثارها على هذه القطعة .

في الحقيقة أن انشاء القالب يطابق غالبا عملية تجميع عناصر قياسية Normalisés أو غير قياسية والتي تصمم بشكل يسهل تصنيعها وفحصها وكذلك فكها وتركيبها .




الشكل (١٢٩)
قالب للحقـــن

١- اسطوانة • ٢- حلقة تحديد المركز • ٣- كتلة القالب • ٤- حلقة تحديد المركز • ٥- ساق القاذف • ٦- قاعدة القاذف ٧- غلاف التوجيه • ٨- برغي سداسي بنهاية مجوفة • ٩- قاذف • ١٠- غلاف • ١١- وصلة اسطوانية • ١٢- طبعات مكررة •




الشكل (١٣٠)

١- القناة الرئيسية • ٢- قالع العقب (الجزرة) : ساق اسطوانية تحوى أداة لامساك الجزرة المتكونة • ٣- اقنية ثانوية لتغذية الطبعات • ٤- طبعة القالب • ٥- اقنية يجرى بها ماء أو أى مائع حرارى بهدف المحافظة على حرارة القالب ثابتة • ٦- قاذف للقطعة • ٧- صفيحة القاذف وتحوى كل القواذف وتسمح بحركتهم بشكل متزامن • ٨- مجموعة المعايرة : تؤمن ضبط الاوضاع الصحيحة لمختلف القطع الرئيسية للقالب •

الشكل ( ١٢٩ ) والشكل ( ١٣٠ ) يبينان تفاصيل الانشاء والتي نجدها تقريبا في كل قوالب الحقـن المتعددة الطبعات .

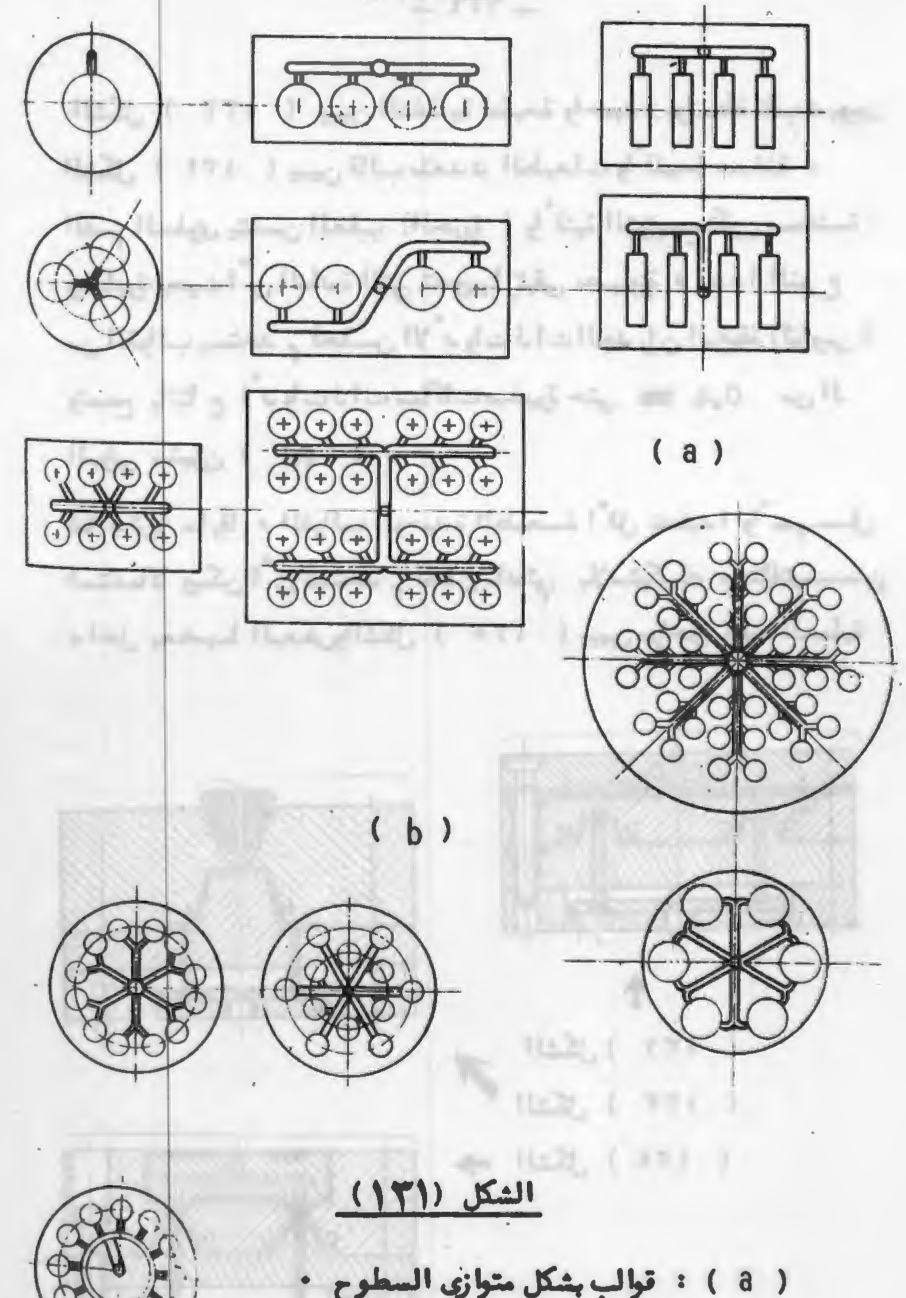
توزيـــع الطبعات :

في حالـة القوالب المتعددة الطبعات تكون هذه الطبعات موزعـة بشكل يقتضي استخدام الأقنيـة القصيرة وذلك لتخفيض الفقد بالحمـل . من جهـة أخرى يجب تجنب توزيـع الأقنية الغير متماثل . يمكن استخدام التوزيعـات المبينة بالشكل ( ١٣١ ) حيث ( a ) تمثل قوالب بشكل متوازى السطوح ، ( b ) تمثل قوالب اسطوانيـة تكون غالبا أكثر سهولـة في التصنيـع .

تغـذية الطبعـــات :

يمكن أن تغذى الطبعـات بواسطة مدخل مخروطي عريض قاعدتـــه بحدود 5 - 12 mm حيث يصب غالبا على لوحـة ومن ثم فـــي الأقنية الدقيقة جدا . التغذية الشعرية يمكن أن تكون عمودية علـى القطعـة في مستوى الوصل للقالب أو من الأسفل . المادة البلاستيكية في قسم التغذية من القالب تتجمد عند التبريد وتشكل العقب أو الجزرة ( كما ذكرنا سابقا ) لذا يجب تقليل هذه الظاهـرة ما أمكن والأشكال التالية تبين عدة حلول للتغذيـة :

الشكل ( ١٣٢ ) يبين تغذيـة شعرية دقيقـة لقالب متعدد الطبعات حيث نلاحظ أن المادة البلاستيكية المحقونـة تصب على لوح قبل أن تدخل الأقنية المؤديـة الى طبعات القالب .



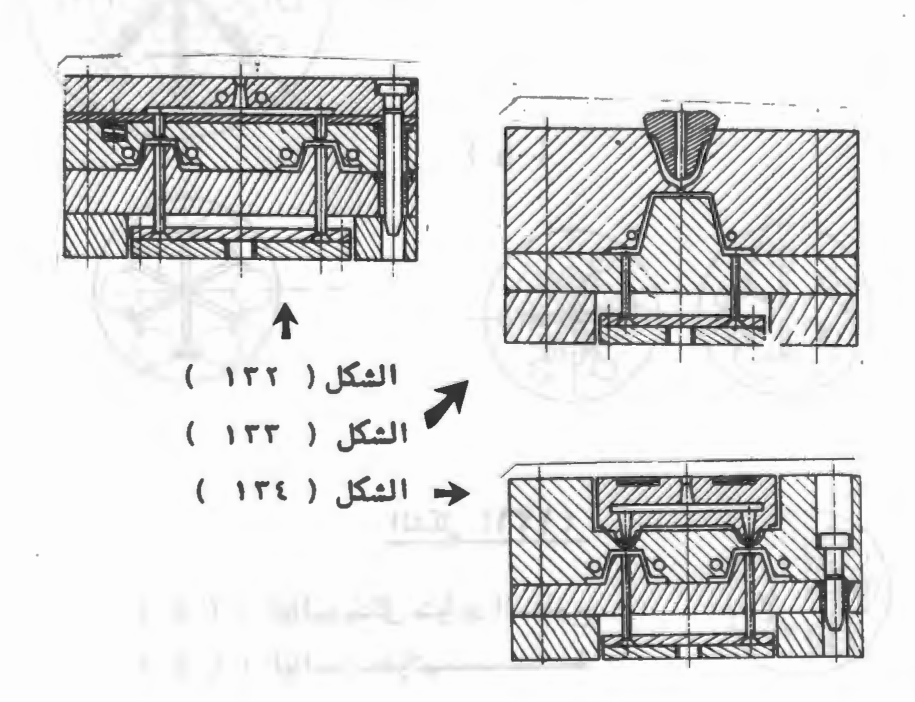

الشكل (١٣١)

• قوالب بشكل متوازى السطوح : ( a )

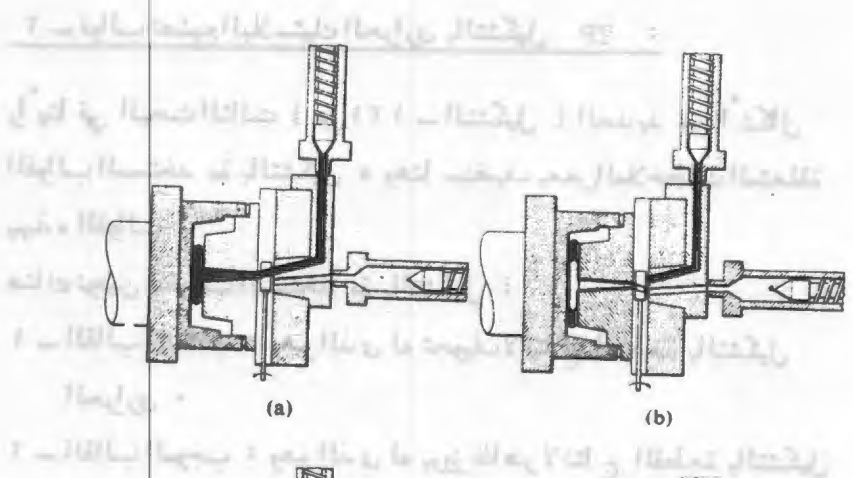
• قوالب اسطوانيـــــــــة : ( b )

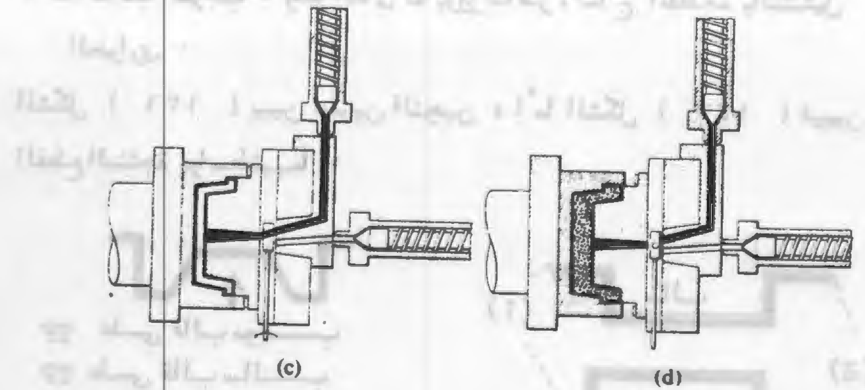
الشكل ( ١٣٣ ) يبين التغذية لطبعة واحـدة بواسطة ثقب دبوس.
الشكل ( ١٣٤ ) يبين قالب متعدد الطبعات وأقنيـة مسخنة ،
القسم العلوى يتضمن العقب (الجزرة ) وأقنية التوزيـع تكون مسخنـة
ومعايرة بحيث أن المادة التي تحويها تبقى مصهورة ، هذا النوع
من القوالب يستخدم لحقـن الأدوات ذات الجدران الرقيقة (كؤوس )
وتسمح بانتاج أدوات ذات سماكات صغيرة حتى 0,4 mm من الـ
البولي ستيرن ( PS ) .

كما ذكرنا سابقا ، القوالب الوحيدة الطبعـة أقل تعقيدا وأسهـــل
استعمالا ويمكن أن تستخدم لحقن مادتي بلاستيكيك مختلفتيـــن
داخل بعضهما البعض والشكل ( ١٣٥ ) يبين مراحل هذه العملية .



الشكل ( ١٣٢ )
الشكل ( ١٣٣ )
الشكل ( ١٣٤ )




الشكل ( ١٣٥ )

(a) ـ حقن مادة الغلاف الخارجي ( القشرة ) .

(b) ـ حقن مادة القلب ( الحشوة ) .

(c) ـ انتهاء حقن مادة الغلاف التي تأخذ شكل القالب .

(d) ـ القالب يفتح جزئيا لاتمام حقن مادة الحشوة وفق السماكة المطلوبة .

## ٢ ـ قوالب تصنيع البلاستيك الحرارى بالتشكيل TP :

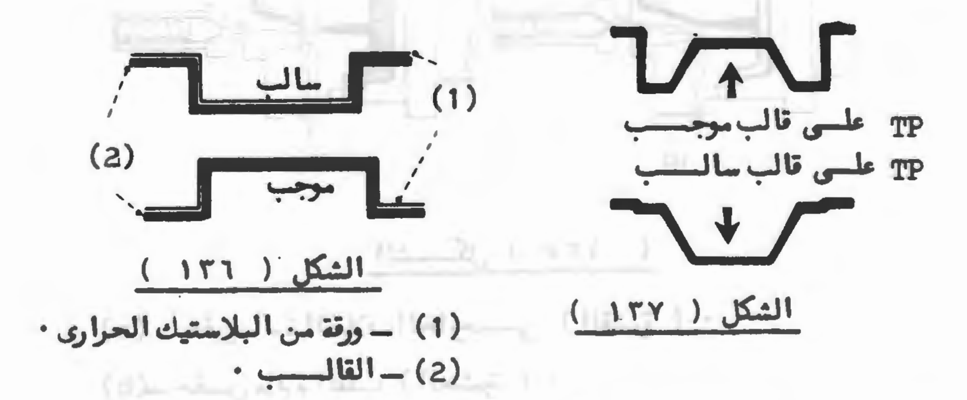
رأينا في البحث الثالث ( ص ١٢١ ـ التشكيل ) العديد من أشكال القوالب المستخدمة بالتشكيل ، وهنا سنضيف بعض الملاحظات المتعلقة بهذه القوالب :

هناك نوعين للقوالب المستخدمة بالتشكيل :

١ ـ القالب السالب : وهو الذى له تجويف لانتاج القطعة بالتشكيل الحرارى ٠

٢ ـ القالب الموجب : وهو الذى له بروز ظاهر لانتاج القطعة بالتشكيل الحرارى ٠

الشكل ( ١٣٦ ) يبين هذين النوعين ، أما الشكل ( ١٣٧ ) فيبين القطع المنتجة بواسطتيهما ٠




الشكل ( ١٣٦ )

الشكل ( ١٣٧ )

(1) ـ ورقة من البلاستيك الحرارى ٠
(2) ـ القالــــب ٠

الجدول رقم ( ٣١ ) يبين الخواص العامة للقطع المنتجة بهذيــن النوعين من القوالب ٠

### المواد المستعملة لصناعة القوالب :

١ ـ لأجل انتاج كميات صغيرة (بضع مئات) يستخدم الخشب أو الجص الصلــب ٠

الجدول رقم ( ٣١ )

| القالب السالب | القالب الموجب |
| --- | --- |
| سطح خارجي مطابق تماما للقالب• | سطح خارجي ناعم وبراق • |
| نعومة داخلية • | التفاصيل الداخلية واضحة بشكل جيد • |
| عمق وزوايا رقيقة • | عمق سميك • |
| عمق الشد محدود • | حروف نحيفة • |
| اخراج من القالب سهل • | نسبة السحب أعلى • |
| استهلاك أقل من المادة • | اخراج صعب من القالب • |

٢ ـ لأجل الانتاج بكميات متوسطة ( حتى العشرة آلاف قطعة ) يستخدم الايبواكسيد EP المسلح •

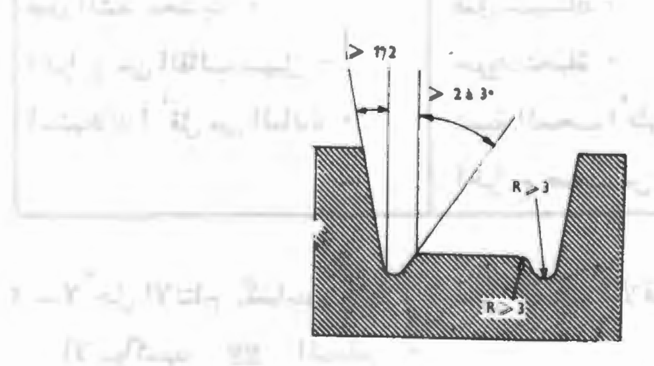
٣ ـ لأجل الانتاج بكميات كبيرة ( أكثر من عشرة آلاف قطعة ) فيستخدم الالمنيوم أو الفولاذ غالبا •

القوالب المعدنية توافق بشكل جيد متطلبات التشكيل الحراري بكميات كبيرة لكن محذور انخفاض حرارة المادة خلال التشكيل بشكل سريع جدا ، لذا يفضل غالبا المعدات المصنوعة من البلاستيك المتصلب حراريا TD والحاوي على بودرة ذات أساس معدني لانها كذلك رخيصة السعر كبودرة الألمنيوم •

القوى المؤثرة تكون نسبيا ضعيفة • يجب الاعتناء بسطوح القوالب لتعطي القطع الناتجة هيئة مناسبة •

في كل القوالب يجب توفير وتهيئة ثقوب للخروج بأقطار صغيرة mm $\leq 0,5$

وذلك لتخلية الهواء المحبوس بين القطعة والقالب .
يجب الانتباه كذلك الى أن عوامل التمدد للمواد البلاستيكية بصورة عامة أكبر بعشر مرات من المعادن ، كذلك يجب أن يكون ميلان السطوح هاماً ليسهل عملية الاخراج من القالب وهناك بعض القواعد بهذا الخصوص مبينة على الشكل ( ١٣٨ ) .



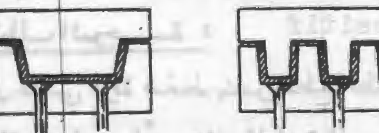

الشكل ( ١٣٨ )

=========================

٣ - قوالب تصنيع المواد البلاستيكية المتصلبة حراريا TD :

هناك شركات متخصصة لتصنيع القوالب المستعملة للمواد البلاستيكية باستثناء المصانع الكبيرة التي بامكانها تصنيع قوالبها الخاصة بها . تصنيع القوالب عملية صعبة وتحتاج الى فنيين وعمال باختصاص وخبرة ممتازة ، وهي غالبا باهظة التكاليف .

يتألف القالب من جزئين يتوضعان الواحد فوق الآخر ، بشكل يسمح بحساب درجة الحرارة والضغط المناسبين . يتضمن القالب الطبعة Empreinte وهي التجويف حيث بداخلها تأخذ القطعة شكلها النهائي .



القالب ذو الطبعة الواحدة هو الأكثر بساطة . القالب بطبعات متعددة يسمح بانتاج عدة قطع بآن واحد متشابهة أو مختلفة حسب طبعات القالب .

تخليص القطعة من القالب يتم غالبا بواسطة قاذف القطعة éjecteur المتحرك والعملية تتم اتوماتيكيا ، توسيع فوهة الاغلاق وزاوية ميلان الجوانب تسهل كثيرا عملية اخراج القطعة .

تصنف أنواع القوالب حسب طريقة استخدامها الى :

١- قوالب يدوية : كل الأعمال كالتعبئة ووضع أجزاء القالب تتم يدويا وخارج الآلة . تستخدم بصورة عامة لتجارب القولبة بالضغط ولا تحتوي الا طبعة واحدة .

٢- قوالب الانتاج : وتثبت على صفائح الآلة ولها نوعان :

٢-١- قوالب نصف اتوماتيكية : مع تحميل وبدء الدورة يدويا . الفتح والاغلاق يتم بواسطة حركة صفيحة متحركة من الآلة حيث أحد أجزاء القالب يكون ثابت.

٢-٢- قوالب اتوماتيكية : حيث تتم كافة العمليات من فتح واغلاق ولفظ للقطعة اتوماتيكيا بواسطة حركات صفائح الآلة .

قوالب الضغط : هناك عدة أنواع خاصة للقوالب تستعمل فقط في طريقة الضغط :

١- قوالب بسكين (أو التهريب) : Moule à couteau

مصمم بحيث أن الزيادة في المادة في الجزء السفلي تستطيع الخروج تحت ضغط الجزء العلوى حتى لحظة التلامس الذى يتم بين الجزئين عند مستويات الوصل . هذه القوالب نسبيا بسيطة الصنع وتنظيفها سهل عند كل عملية . النتوء يقص بواسطة الأداة الضاغطة، الشكل ( ١٣٩ ) .

٢- القوالب الموجبة : Moule positif

وتحتوى على غرفة ضغط بنفس مقطع الطبعة ، الشكل ( ١٤٠ ) ، هذا القالب لا يعطي أى منفذ للمادة الموجودة داخل الجزء السفلي أى أن المادة تتحمل كل ضغط الجزء العلوى . في الحقيقة يتشكل نتوء شاقولي رقيق جدا يتصلب بسرعة ، يسد الفراغ بين الجزئين بواسطة وصلة ( جوان ) شاقولية .

٣- القوالب النصف موجبة : Moule Semi_positif

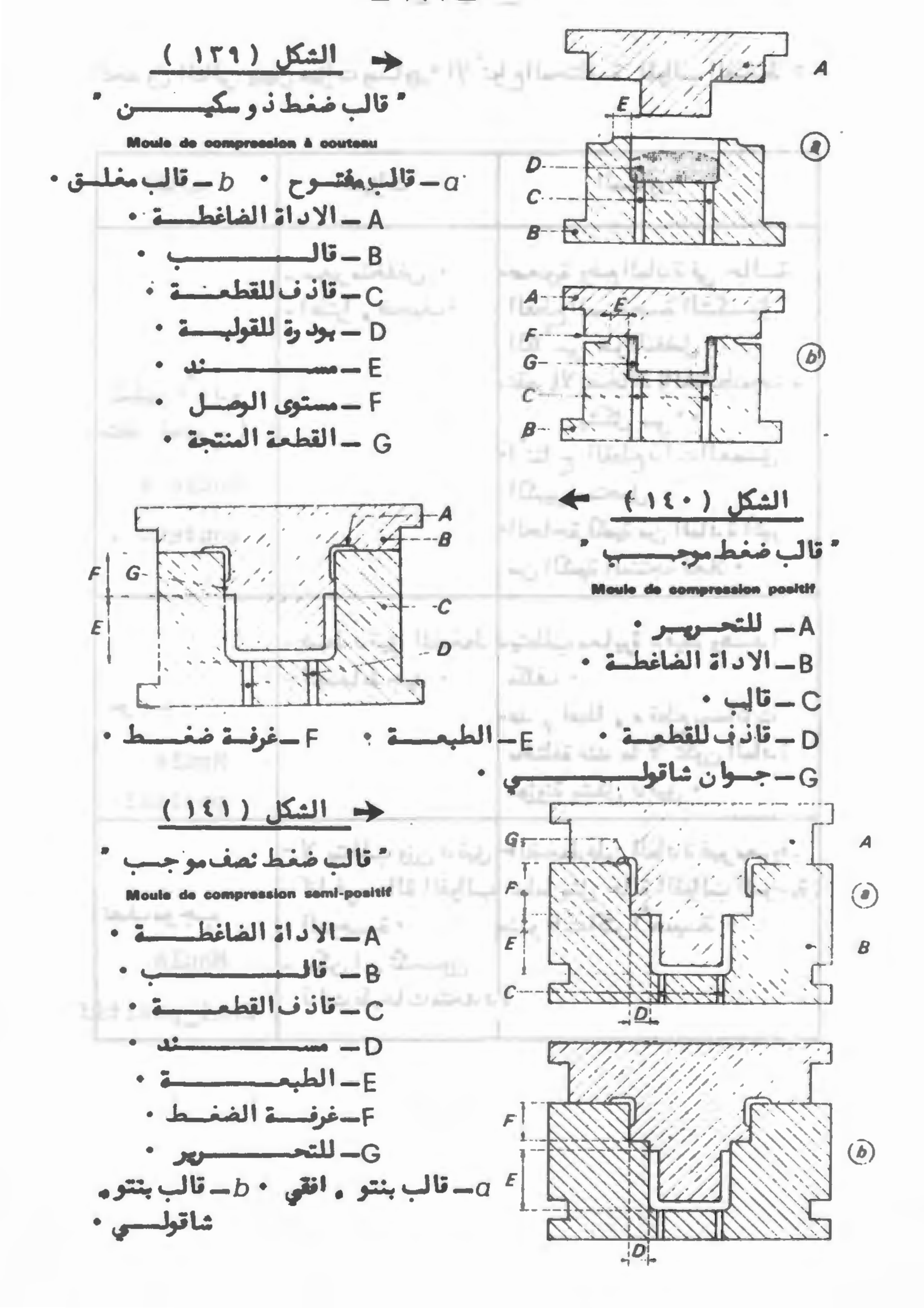
ولها خواص القالب الموجب والقالب بسكين مجتمعة ، الشكل ( ١٤١ ) ، ويحوى غرفة ضغط بمقطع أكبر قليلا من الطبعة ( بعض المليمترات ) حيث يترك حرف في أعلى الطبعة . الفراغ بين الغرفة والأداة الضاغطة يسمح للمادة بالخروج ببداية الأغلاق خلال جزء من دورة الأنتاج ثم في نهاية الضغط فان جزئي القالب ينطبقان بشكل تام ويصبح القالب موجب .

٤- قوالب بصدفة : Moules à coquilles

عبارة عن قالب يتضمن عدة قطع قابلة للفك ، الشكل ( ١٤٢ ) ، يسمح بتخليص القطعة المنتجة التي تكون مسلوبة عكسيا ، أى أن القطعة لا يمكن اخراجها بدون فك القالب .

الجدول التالي يبين ميزات ومساوىء الانواع المختلفة لقوالب الضغط :

| القالب | الميزات | المساوىء |
| --- | --- | --- |
| بسكين أو ذو منفذ (مخرج) Moule à couteau . | - سعر منخفض .<br>- اهتراء ضعيف. | - صعوبة وضع المادة في حالة القطع المسطحة الشكل الكاسي هو المفضل .<br>- نقص الانضغاط والضغط محدد بشكل سيء .<br>- انتاج القطع ذات العمق الكبير مستحيل .<br>- الحاجة لكمية من المادة اكبر من الكمية المنتجة فعلا . |
| موجب Moule positif | - ضبط دقيق للضغط<br>- انضغاط جيد . | - يتطلب معايرة دقيقة وهذا مكلف .<br>- عدم اعطاء قطع بسماكات مختلفة عند ما لا تكون المادة موزونة بشكل دقيق . |
| نصف موجب Moule Semi_positif | - لا يتطلب وزن دقيق كما في حالة القوالب الموجبة .<br>- يمكن ان تكون ذات طبعات متعددة | - الضغط على المادة غير معروف تماما مثل حالة القوالب الموجبة - نتوءات اكثر اهمية . |



الشكل ( ١٣٩ )

" قالب ضغط ذو سكيـــن "

Moule de compression à couteau

a ـ قالب مفتوح • b ـ قالب مغلق •

A ـ الاداة الضاغطة •

B ـ قالب •

C ـ قاذف للقطعة •

D ـ بودرة للقولبة •

E ـ مسند •

F ـ مستوى الوصل •

G ـ القطعة المنتجة •

الشكل ( ١٤٠ )

" قالب ضغط موجب "

Moule de compression positif

A ـ للتحرير •

B ـ الاداة الضاغطة •

C ـ قالب •

D ـ قاذف للقطعة •

E ـ الطبعة • F ـ غرفة ضغط •

G ـ جوان شاقولي •

الشكل ( ١٤١ )

" قالب ضغط نصف موجب "

Moule de compression semi-positif

A ـ الاداة الضاغطة •

B ـ قالب •

C ـ قاذف القطعة •

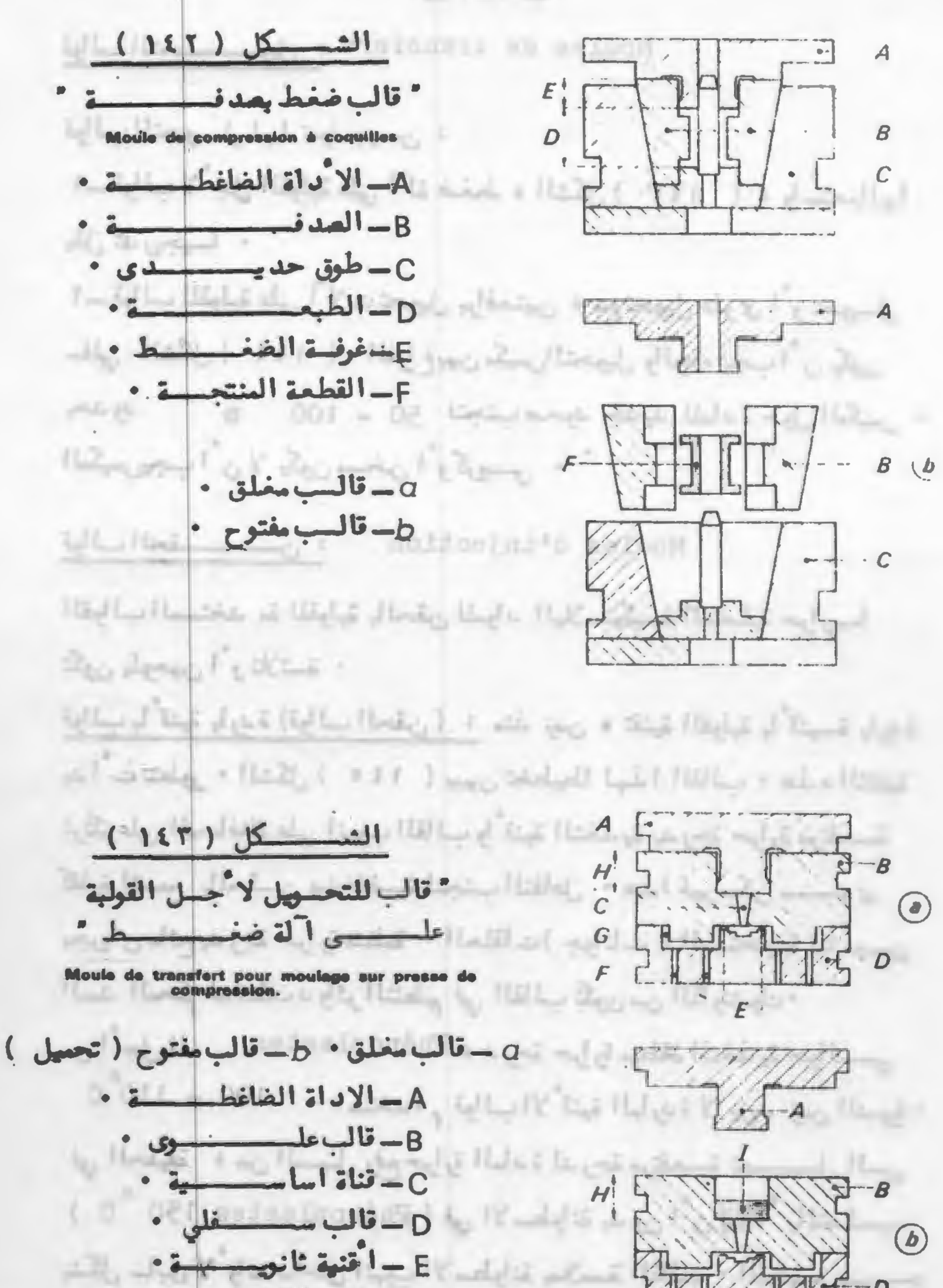
D ـ مسند •

E ـ الطبعة •

F ـ غرفة الضغط •

G ـ للتحرير •

a ـ قالب بنتو ، افقي • b ـ قالب بنتو ، شاقولي •




**الشـــكل ( ١٤٢ )**

" قالب ضغط بصدفـــــة "

**Moule de compression à coquilles**

- A — الأداة الضاغطـــة .
- B — الصدفـــــة .
- C — طوق حديـــــدى .
- D — الطبعـــــة .
- E — غرفـة الضغـــط .
- F — القطعة المنتجـــة .

- a — قالـب مغلق .
- b — قالـب مفتوح .

**الشـــكل ( ١٤٣ )**

" قالب للتحـويل لأجـل القولبة علـــى آلة ضغـــط "

**Moule de transfert pour moulage sur presse de compression.**

a — قالب مغلق . b — قالب مفتوح ( تحميل )

- A — الاداة الضاغطـــة .
- B — قالب علـــوى .
- C — قناة اساســـية .
- D — قالب ســـفلي .
- E — أقنية ثانويـــة .
- F — قاذف القطعـــة .

G — الطبعـــة . H — غرفة الضغط . I — بودرة القولبـة .

قوالب التحـــــويل : Moules de transfert

قوالب التحويـــل لها نموذجيـــن :

١ـ قوالب لأجل القولبة على آلة ضغط ، الشكل ( ١٤٣ ) ، واستعمالها يقل تدريجيـــا .

٢ـ قوالب للقولبة على آلات تحويل برافعتين ، مع تحويل علوي أو تحويـــل سفلي الشكل ( ١٤٤ ) . الفراغ بين مكبس التحويل والوعاء يجب أن يكون بحدود m 100 - 50 لتجنب صعود جديد للمادة حول المكبس . المكبس يجب أن لا يكون مسخن أو كرومـــي .

قوالب الحقـــــــن : Moules d'injection

القوالب المستخدمة للقولبة بالحقن للمواد البلاستيكيـــة المتصلبة حراريــا تكون بلوحين أو ثلاثـــة .

قوالب بأقنية باردة (قوالب الحقن) : منذ زمن ، تقنية القولبة بأقنيـــة باردة بدأت تتطور . الشكل ( ١٤٥ ) يبين تخطيطا لهذا القالب . هذه التقنية ترتكز على المحافظة على انبوب القالب وأقنية التغذية بدرجة حرارة مرتفعـــة كفاية لتسمح بالحقـــن ومنخفضـــة لمتجنب التفاعل . هذا غير ممكن ســـوى بجريان مائع بدرجة حرارة منظمة . الحلقات ( جوانات ) المستخدمة لتأميـــن السد المحكم لمختلف دوائر التنظيم في القالب تكون من الكاوتشوك .

من أجل الـ Phénoplastes ، درجة حرارة منطقة التغذية حوالـــي $100 - 110\,^{\circ}C$ . استخدام قوالب الأقنية الباردة لا يزيد زمن الدورة . في الحقيقة ، من السهل رفع حرارة المادة لدرجة مرتفعـــة تصـــل الـــى ( $150\,^{\circ}C$ Phénoplastes ) في الاسطوانة بدون أن يبدأ بالتصلـــب بشكل سابق لأوانه داخل انبوب الاسطوانة بملامسة القالب . القولبـــة مـــع



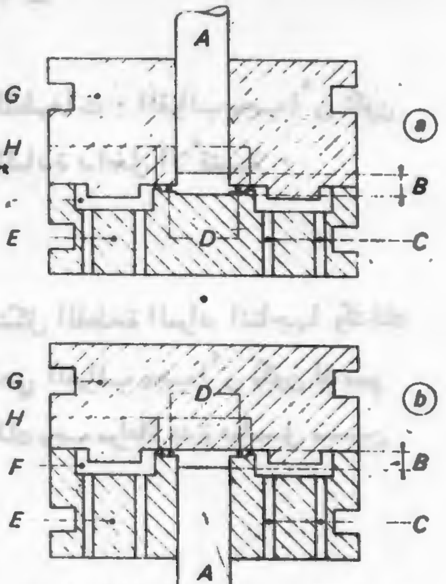
## الشكل ( ١٤٤ )

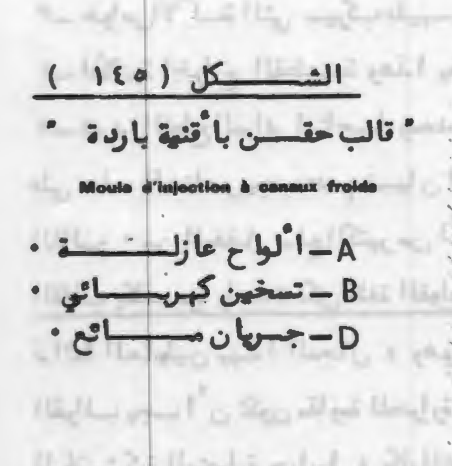
" قوالب تحويل للقولبة على آلات تحويل برافعتين "

Moules de transfert pour moulage sur presse de transfert à deux vérins.

- A — مكبس التحويل •
- B — غرفة الضغط •
- C — قاذف القطعة •
- D — أقنية •
- E — قالب سفلي •
- F — الطبعة •
- G — قالب علوى •
- H — مداخل •

a — تحويل علوى • b — تحويل سفلي •



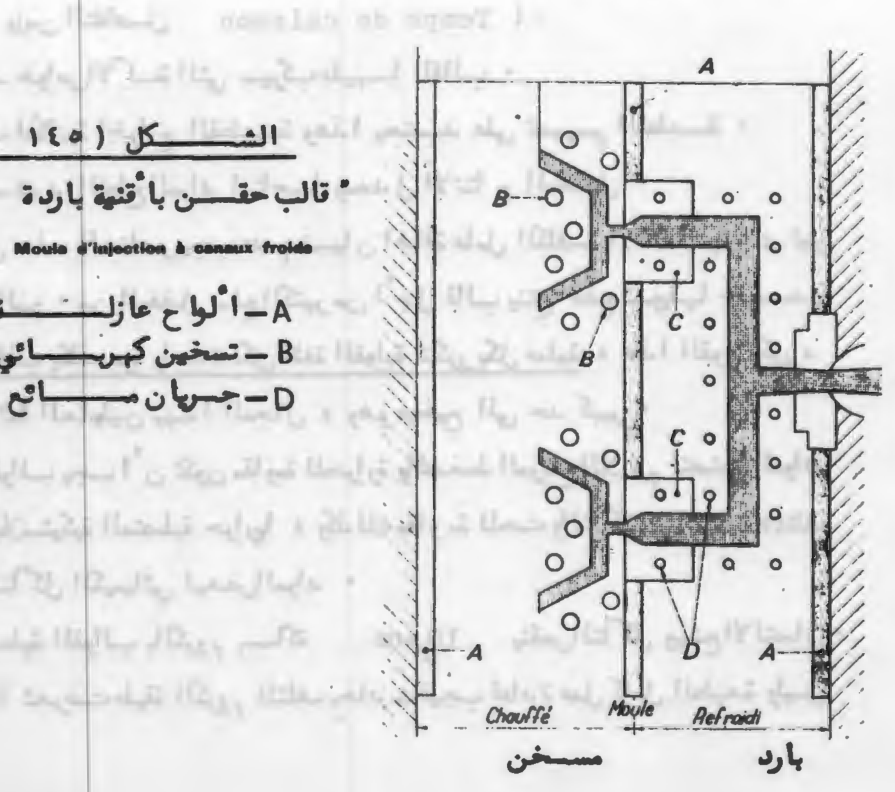



## الشكل ( ١٤٥ )

" قالب حقن بأقنية باردة "

Moule d'injection à canaux froids

- A — ألواح عازلة •
- B — تسخين كهربائي •
- D — جريان مائع •



الأقنية الباردة تتطلب ملء متوازن تماما للطبعات . القوالب يجب أن تكون مجهزة بمجموعة للتخليص في حالة تفاعل المادة داخل الأقنيــة .

**تصنيـــــــــع القوالـــب :**

يجب أن يكون القالب مصمم استنادا الى شكل القطعة المراد انتاجها وكذلك الى المادة البلاستيكية المستعملة . صانعي القوالب يجب أن يكون لديهم معرفة جيدة بتقنيــة القولبة جيدا ، وكذلك يجب مراعاة عدة عوامــل مــن أهمهــا :

١ـ الشكل ، الحجم ، والوزن .

٢ـ طبيعة وخواص المادة البلاستيكية المستعملة ( التراجع Retrait ، وزمن التفاعــل Temps de cuisson ) .

٣ـ خواص الآلــة التي سيركب عليهــا القالب .

٤ـ امكانية اخراج القطعــة وهذا يعتمــد على تصميم القطعــة .

٥ـ عدد القطع المراد انتاجها ومعدل الانتاج المختمل .

على هذه العناصر يجب عدم نسيان اضافة عامل الكلفــة الاقتصادية أى ثمن القالب . من المفضل دفع الكثير من أجل قالب ينتج قطع تسويقها جيــد . القالب يكلف مرة واحدة لكن كلفة القولبة تتكرر بكل عملية ، هذا القول يكرره دائما العاملين بهذا المجال ، وهو صحيح الى حد كبير .

القوالب يجب أن تكون مقاومة للحرارة والضغط المرتفع اللازم لتصنيع المواد البلاستيكية المتصلبة حراريا ، وكذلك مقاومة للحت والتآكل Abraision وللتآكل الكيميائي لبعض المواد .

تغطية القوالب بالكروم بسماكة $10 \mu m$ ينقص التآكل ويمنع الالتصاق . اذا تعرضت طبقة الكروم للتلف بحادث فيجب اعادة عمل كامل الطبعة وليس

فقط الجزء التالف . استخدام الفولاذ بنسبة عالية من الكروم يمكننا من الاستغناء عن طبقة الكروم . سطوح القوالب يجب أن تكون ناعمة جدا . المعادن المستخدمة لصنع القوالب يجب أن تختار بعناية ، ويكون لها بعض الخواص أهمها :

١ـ غياب الفراغات والفجوات .

٢ـ سهولة التصنيع ما أمكن .

٣ـ امكانية التقسية بالسقاية .

٤ـ مقاومة جيدة للاهتراء .

خواص وانواع الفولاذ المستخدم لصناعة القوالب تعطى في الجدول الموجود في الصفحة القادمة .

الخاصة الأساسية للقالب المخصص لانتاج كميات كبيرة من القطع هي المقاومة السطحية الجيدة . استخدام الفولاذ القاسي جدا لتصنيع أجزاء القالب يحل المشكلة من ناحية ، لكن السعر المرتفع لهذا النوع من الفولاذ وصعوبة تصنيعه تشكل مشكلة أخرى ، لهذا السبب يلجأ الى استعمال القوالب المجوفة le moule à alvéoles التي تتضمن تجاويف في الفولاذ العادى ، يستخدم بداخلها قطع من الفولاذ الخاص سواء للتجويف السفلي أو العلوى ويغطى القالب بطبقة من الكروم بسماكة 0,01 mm . .

تصنع قطع القالب بالوسائط الميكانيكية المعتادة ( الفارزة ، المخرطة ..... ) . ويجب الاشارة الى أن تصنيع القوالب أصبح أقل صعوبة بسبب وجود قطع وعناصر ستاندر ( دعامات ، أطواق ، قواذف للقطع ......... ) ؛

سنقوم الآن بتقديم بعض التوضيحات لبعض أجزاء القالب :

<u>ثقوب تخلية الهواء</u> : الهواء والغاز المحصور في الطبعات يمكن أن يعاكس

**الفولاذ المستخدم لصناعة القوالب**

| جزء القالب | التسمية | مقاومة الانهيار daN/mm² |
|---|---|---|
| قطع التركيب : | | |
| دعامات . طوق حديدي . | XC 38 ou XC 42 | 80 - 90 |
| عناصر متحركة : | | |
| حلقات التوجيه . | 16 NC 6 | 180 |
| قاذف (لافظ) القطع . | 40 NC 17 | 180 |
| الجزء الخلفي للقالب . | XC 48 | 90 - 100 |
| أجزاء القولبة : | | |
| فتحة الحقن . | 40 NC 15 | 190 - 200 |
| اسطوانة التحويل . | 50 NC 15 | 180 - 200 |
| مكبس التحويل . | Z 200 C 13 | 180 - 200 |
| الأداة الضاغطة . | Z 200 C 13 | 180 - 200 |
| طبعات قسرية . | XC 12, 10 N 8, 40 NC 15, Z 200 C 13 . | 160 |
| طبعات مصنعة . | 30 NC 11, 35 NC 15, 80 M 8, Z 200 C 13, Z 30 C 13, Z 60 CD 14. | 150 - 200 |

جريان المادة ، وبالتالي يظهر على القطع المنتجة آثار حروق . من أجل تسهيل تخلية الغاز يجب استخدام ثقوب صمامة évents . وبصورة عامة توضع الثقوب داخل مستويات الوصل وأبعادها تكون :

العمق : 5 - 10 mm العرض : 10 - 100 m

تنفذ الثقوب بعد القيام بالتجربة الأولى على القوالب . حالة السطح يجب أن تسمح بتخلية سهلة للمادة في لحظة الاخراج من القالب ، وبدون هذا الشرط فالثقوب تكون غير مؤثرة .

## الأنابيب ، المداخل ، الأقنية من أجل التحويل والحقن :

### أنابيب الحقن :

المقطع مصمم بحيث يحقق ملء سهل للطبعات وارتفاع جيد لدرجة الحرارة للمادة بواسطة الاحتكاك ، ولخفض زمن التفاعل يكون قطر الأنبوب عشر ( ١/١٠ ) قطر لولب التلدين .

### المداخل :

المدخل هو الممر الذى تدخل منه المادة الى الطبعة . الشكل ، والوضع والأبعاد للمدخل تؤثر على الجريان وعلى التوجيه Orientation الذى يحدد المقاومة للتحريض الميكانيكي Sollicitation ولأخطار التشوه عند التبريد . الأشكال الأكثر استعمالا هي التغذية الشعرية ، مقطع مستطيل ، مقطع بشكل V ، نصف دائرة ، شكل مروحي ، أو بشكل حلقات حول القطعة . يجب اختيار الموضع داخل جزء كبير حتى لا يوقف الجريان وبطريقة لا تترك آثار مرئية على القطعة .

يمكن حساب المقطع من العلاقة التجريبية التالية : $S = 0,35\ M$

حيث : $S(mm^2)$ : مقطع المدخل .

$M(gr)$ : كتلة المادة المحقونة داخل الطبعة .

يجب الانتباه الى أن طول المدخل يجب أن يكون أقصر مايمكـن ٠

## الأقنيـــــة :

كما في حالة الأنابيب ولنفس الأسباب فمقطـع الأقنية يجب أن يكون مدروسا بشكل جيد ٠ احدى الشركات المعروفة جيدا في هذا المجال اقترحت أن يكون المقطع يساوى ثلاثة أضعاف مقطع المدخل ٠ كثيرا من القوالب المستخدمة حاليا مزودة بأقنية مقطعـها يساوى ثلثي أو نصف القيمة المقترحة سابقا ( وتحديد القيمة في الحقيقة تجريبي ) ٠ طول الأقنية يجب أن لا يتعدى الـ / ١٠٠ / ميليمتر ٠

الأقنية الطويلة وذات المقاطع الصغيرة تؤدى الى انخفاض محسوس في الخواص الميكانيكية للقطعة المنتجة ٠ المقاطع الدائرية هي الأكثر انتشارا ٠ المقطع النصف دائرى سهل التصنيع ٠ المقاطع العريضة والمسطحة تولد احتكاك عالي وغير منصوح بها للاستعمال ٠ السطح يجب أن يكون ناعم جدا لتجنب عملية التصاق المادة بـــه ٠

## مجموعة تثبيت القالب :

تكون صفائح آلات الضغط وآلات التحويل بصورة عامة مزودة باخدود بشكل حرف ( T ) ، تتلقى مساند مثقبة وملولبة لأجل تثبيت القالب ٠

صفائح الآلات الأفقية مثل آلات الحقن تكون مزودة بثقوب ملولبـة ٠

## تسخين القوالب وتنظيم درجة الحرارة :

يمكن تسخين القوالب بواسطة جريان مائع ( بخار ، ماء ، زيت ) . طريقة التسخين الأكثر بساطة والأكثر ملائمة هي التسخين بواسطة مقاومة كهربائية . المقاومات الكهربائية تكون بشكل حلقات أو عناصر موضوعة داخل صفائح التسخين أو موجودة داخل القالب وهو الأفضل . في الحالة الأخيرة ، لتخفيض الفقد الحراري بالتوصيل الحراري فمن الأفضل عزل القالب عن الصفائح . تسخين كل جزء من القالب يجب أن يكون مراقب بواسطة منظم لدرجة الحرارة ، منظم الكتروني مزود بمزدوجات حرارية Thermocouples موجودة ضمن الأجزاء الموافقة للقالب . غير انه من الضروري التحقق بشكل منتظم ( مرة كل يوم على الأقل ) من درجة الحرارة للسطوح المقولبة بمساعدة أملاح قابلة للانصهار أو بواسطة مقياس درجات حرارة مرتفعة ( مضرم ) Pyromètre معاير بشكل جيد .

### القدرة اللازمة لتسخين القالب :

القدرة النظرية $P_1$ اللازمة لتسخين القالب لدرجة حرارة معينة تعتمد على القدرة الحرارية لكتلة المادة المصنوع منها القالب وهي تتناسب مع كتلة القالب ومع ارتفاع درجة الحرارة :

$$P_1 = \frac{C_1 m_1 ( \theta_2 - \theta_1 )}{3600}$$

حيث : $P_1 (W)$ : القدرة اللازمة .

$C_1$ (J/Kg.K) : الطاقة الحرارية لكتلة القالب وتساوي للفولاذ :

$$C_1 = 4,18 \times 10^2 \text{ J/Kg.K} = 0,1 \text{ cal/g.K} \; ;$$

$m_1$ (Kg) : كتلة القالـــــــب .

$\theta_2$ (°C) : درجة حرارة عمليـــة القولبـة .

$\theta_1$ (°C) : درجة حرارة القالب الابتدائيـة .

3600 s : الزمن الضرورى لتسخين القالب .

على القدرة النظرية $P_1$ اللازمة لرفع درجة حرارة القالب ، من الأفضـل اضافة القدرة $P_2$ اللازمة والضرورية لموازنـة الضياعات بواسطة التوصيـل ، الحمل الحرارى والاشعاع . من الممكن تخفيض هذه الضياعات باحاطة القالب بصفيحة عازلة ( أميانت Amiante ) .

القدرة $P_{2,1}$ المبددة بالتوصيل تعطي من العلاقة :

$$P_{2,1} = \frac{\lambda S(\theta_2 - \theta_3)}{e}$$

حيث : $P_{2,1}$(w) : القدرة المبددة .

$\lambda$ (w/m.k) : الناقليـــة الحراريـة .

S ($m^2$) : سطح التبادل الحرارى .

$\theta_2$ (°C) : درجة حرارة القالب .

$\theta_3$ (°C) : درجة الحرارة للطرف المعاكس للسطوح الملامســة للقالب .

e (m) : سماكة الجـدار الملامس للقالب .

القدرة $P_{2,2}$ المبددة بواسطة الحمل الحرارى تحسب كالتالي ( حسب معادلـة Fishendem ) :

$$P_{2,2} = \frac{K \times 1,66 \times 4,18 \times IO^3\ S\ (\theta_2 - \theta_1)^{5/4}}{3600}$$

حيث : $P_{2,2}$ (w) : القدرة المبددة بالحمل الحرارى .

S ($m^2$) : سطح التبادل بالحمـل الحرارى .

$K$ : ثابت يساوى الى

$K=1$ من أجل الجدران الشاقولية .

$K=1,3$ من أجل الجدران الأفقية المتجهة للاعلى .

$K=0,65$ من أجل الجدران الأفقية المتجهة للاسفل .

$\theta_2$ (°C) : درجة حرارة القالب .

$\theta_1$ (°C) : درجة حرارة الورشة ( درجة الحرارة العادية ) .

القدرة المبددة بالاشعاع $P_{2,3}$ تتبع قانون ستيفان ـ بولتزمـــان ( Stefan - Boltzmann ) :

$$P_{2,3} = \sigma S \, ( T_2^4 - T_1^4 ) \, a$$

حيث :

$P_{2,3}$ (w) : القدرة المبددة بالاشعاع .

$\sigma$ : ثابت ستيفان ويساوى $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W/m^2 . K^4$

$S$ ($m^2$) : مساحة السطح المشع .

$T_2$ (K) : درجة حرارة القالب : $T_2 = (273 + \theta_2)$

$T_1$ (K) : درجة حرارة الورشة : $T_1 = (273 + \theta_1)$

$a = 0,8$ : قوة الارسال ( البث ) لسطح القالب

الطاقـــة المبددة الكليـــة وتساوى الى :

$$P_2 = P_{2,1} + P_{2,2} + P_{2,3}$$

القدرة الكلية $P$ الضرورية لوضع القالب بدرجة الحرارة اللازمـة :

$$P = P_1 + P_2$$

<u>ملاحظـة :</u> في الحقيقة ان حساب الحرارة المبددة طويل . Mourgue اقترح من أجل قوالب المواد البلاستيكية العلاقـة التجـريبية التالية لحساب هذه الحرارة :

$$P_2 = \frac{4,18 \times 500 \times (50S_1 + 27,5S_2)}{60}$$

حيث :

• $S_1$ $(m^2)$ : السطح الجانبي للقالب •

• $S_2$ $(m^2)$ : السطح الكلي الملامس للصفائح (ضعف سطح القالب) •

**مثال تطبيقي :**

المطلوب حساب القدرة الضرورية لأجل تسخين قالب لقطعة ( نموذج Modèle CEMP ) :

الأبعاد : $0,30 \times 0,30 \times 0,20$ m ( الارتفاع 0,20 ) •

الكتلة : 138 Kg

تسخين بواسطة مقاومة كهربائية ضمن القالب • صفائح الآلة معزولة بواسطة ألواح من الأميانت بسماكة 0,025 m •

كل جزء من القالب مثبت على صفائح الآلة بواسطة /٤/ مسامير كبيرة بمقطع $2 \times 10^{-4} m^2$ ( $2\ cm^2$) وبطول 0,10 m •

درجة حرارة القولبة : $\theta_2 = 170^\circ C$

درجة حرارة الورشة : $\theta_1 = 20^\circ C$

نفرض أن درجة حرارة نهايات المسامير من الأعلى $170^\circ C$ ومن الأسفل $70^\circ C$

**القدرة النظرية :**

$$P_1 = \frac{4,18 \times 10^2 \times 138\ (170 - 20)}{3600} = 2400\ w$$

**القدرة المبددة بواسطة التوصيل :**

١ـ باختراق لوحي الأميانت :

$S = 0,30 \times 0,30\ m^2$

$e = 0,025\ m$

$\lambda = 0,0836\ W/m.K = 0,0002\ cal/s.cm.K$

$$P_{2,1a} = \frac{0,0836 \times 0,30 \times 0,30 \times 2 \times (170 - 20)}{0,025} = 90\ w$$

٢- بواسطة المسامير : $2 \times 4$

$= 46\ W/m.K = 0,11\ cal/s.cm.K$

$$P_{2,1b} = 88w = \frac{46 \times 4 \times 2 \times 10^{-4}\ (170 - 70) + (170 - 30)}{0,1}$$

<u>القدرة المبددة بواسطة الحمل الحراري على كل السطح الجانبي للقالب :</u>

$S = (0,3+0,3+0,3+0,3) \times 0,2 = 0,24\ m^2$

$$P_{2,2} = \frac{1 \times 1,66 \times 4,18 \times 10^3 \times 0,24\ (170 - 20)^{5/4}}{3600}$$

$= 242\ W$.

<u>القدرة المبددة بالاشعاع على كل السطح الجانبي للقالب :</u>

$P_{2,3} = 5,67 \times 10^{-8} \times 0,24\ (443^4 - 293^4) \times 0,8 = 339\ W$

<u>القدرة الكلية المبددة :</u>

$P_2 = 90 + 88 + 242 + 339 + 759 = 759\ W$

<u>القدرة الكلية اللازمة P لرفع درجة حرارة القالب هي :</u>

$P = 2400 + 759 = 3159\ W$

<u>ملاحظة :</u> نحسب قيمة $P_2$ وفقا لمعادلة Mourgue التجريبية :

$$P_2 = \frac{4,18 \times 500 \times\ (50 \times 0,24) + (2,75 \times 0,18)}{60} = 590\ W$$

هذه القيمة ليست بعيدة و وفق الدقة المطلوبة ) من القيمة 759 W التي وجدناها سابقا •

**القدرة اللازمة للمحافظة على درجة الحرارة :**

القدرة اللازمة للمحافظة على درجة حرارة القالب $P_3$ : تعادل في نظام القولبة الى مجموع القدرات التالية :

$$P_3 = P_2 + P_{3,1} + P_{3,2}$$

حيث :

$P_2$ : القدرة اللازمة لموازنة الضياعات بالتوصيل والحمل الحرارى والاشعاع •

$P_{3,1}$ : القدرة المبددة بواسطة المادة البلاستيكية المصنعة بالقولبة •

$P_{3,2}$ : القدرة المبددة بسبب فتح القالب •

**القدرة المبددة بواسطة المادة البلاستيكية :**

$$P_{3,1} = \frac{C_2 m_2 (\theta_2 - \theta_1) n}{3600}$$

حيث :

$c_2$ (J/Kg.K) : القدرة الحرارية لكتلة المادة المقولبة في حالة Phénoplaste

تساوى : $C_2 = 1,46 \times 10^3$ J/Kg= 0,35 cal/g.K

$m_2$(Kg) : كتلة القطعة المقولبة •

$\theta_2$ : درجة حرارة القالب •

$\theta_1$ : درجة حرارة المادة لحظة دخولها القالب •

$n$ : عدد مرات عملية القولبة بالساعة •

**القدرة المبددة بسبب فتح القالب :**

$$P_{3,2} = \frac{C_1 m_1 \Delta \theta n}{3600}$$

حيث : $C_1$ : القدرة الحرارية لكتلة القالب .

$m_1 (Kg)$ : كتلــة القالب .

$\Delta \theta (K)$ : انخفاض درجة الحرارة خلال عملية الفتح فيما لو لم يكن هناك موازنــة لهذا الانخفاض.

**مثال تطبيقـــــــي :**

كتلة القطعة المقولبــة = 0,200 Kg

$\Delta\theta = 5K$

عدد القطع المصنعة بالساعة = ١٢ قطعة .

قولبة بدون اضافة حرارة للمادة البلاستيكية قبل دخولها القالب .

$$P_{3,1} = \frac{1,46x10^3 x0,2x(170 - 20)x12}{3600} = 146 \ W$$

$$P_{3,2} = \frac{4,18x10^2 x138x5x12}{3600} = 961 \ W$$

$$P_2 = 759 \ W$$

$$P_3 = 759 + 146 + 961 = 1866 \ W.$$

## القواعد العامة المتبعة لتصنيع القوالب :

للحصول على قالب جيد للاستعمال للغاية المقصودة وبشروط اقتصادية ملائمة يجب اتباع القواعد التاليـة :

### ١ـ مايتعلق بالقطعة المراد انتاجها :

يجب وضع مشروع كامل مفصل تماما عن القطعة المراد انتاجها . تصنيع النموذج الأصلي بالتأكيد يأخذ وقتا وأكثر كلفة من المكرر . بالرغم من كل الاحتياطات الممكنة يجب مراعاة مايلي :

آ ـ تجنب الميلان المعاكس الذى يؤدى الى قالب متعدد القطع ، غالـي الثمن ، صعب الاستعمال ومردوده ضعيف .

ب ـ وضع سماكة مناسبة للجدران بحيث تكون الصلابة والمقاومة الميكانيكيـة كافيـة .

جـ ـ تخفيف الزوايا الحادة بتأمين اتصال السطوح المستوية بالانحناء . الزوايا الحادة دائما تشكل نقاط ضعف في مقاومة القطع وتعيق عمليـة اخراج القطع من القالب كما تعقد صنع القالب .

### ٢ـ اختيار المادة المقولبـة :

يكون اختيار المادة المقولبة كتابع للخواص التي يجب أن تتصف بها القطعـة المنتجـة ( مقاومة ميكانيكية ، خواص كهربائية ، الهيئة ...... ) .

### ٣ـ تراجع المادة البلاستيكية :

يجب الانتباه وعدم النسيان أبدا تراجع الريزين الاصطناعي خلال عمليـة القولبة والتي تكون بحدود 0,6 - 0,9% .

### ٤ـ تكاليف القوالب :

كلفة القوالب مرتفعـة بشكل عام ، والأسعار تتناقص عند الكميات الكبيرة والقوالب ذات الطبعات المتعددة أكثر كلفة من قوالب الطبعة الواحدة .

<u>صيانة القوالب :</u>

يجب أن تنظف القوالب بشكل دوري لأنها تتوسخ اما ببقايا المادة في بعض الأجزاء ، واما بعد استعمال زائد لوسيط لاخراج القطع بعد عملية القولبة démoulage .

<u>الأمن والحماية للقوالب والآلات :</u>

الحماية من الآلات تؤمن بواسطة لوحات واقية للمناطق الخطرة ، هذه اللوحات تمنع أي تشغيل طالما كانت مرفوعة . مجموعات الخلايا والقواطع تستخدم كذلك للحماية .
حماية القالب تتركز على تأمين عدم بقاء أي قطعة مصنعة داخل القالب بنهاية الدورة الانتاجية . بالآلات اليدوية والنصف اتوماتيكية تؤمن هذه الناحية بواسطة العامل ، أما بالآلات الاتوماتيكية فالحماية تتأمن بواسطة الاغلاق تحت ضغط ضعيف ومراقبة القطع بمساعدة الميزان الذي يبدأ الدورة الانتاجية الجديدة .



## الملحقـــــــــــات

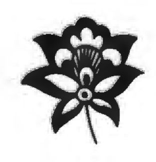
ـ جداول أسماء ورموز المواد البلاستيكية المختلفــة •

ـ جداول الخـــــــــــــــــواص •

ـ قاموس : عربي ـ فرنسي ـ انكليزي للكلمات المستخدمة •

ـ المحتـــــــــــوى •

ـ مراجـع الكتاب •



## جدول الأسماء والرموز (١)

| الرمز | | المادة | |
|---|---|---|---|
| ABS | (1) | poly(styrène/butadiène/acrylonitrile). | |
| ASA | (1) | poly(acrylonitrile/styrène/acrylate d'éthyle). | |
| CA | (1) | acétate de cellulose. | |
| CF | (2) | crésol formol. | |
| CN | (1) | nitrate de cellulose. | |
| EP | (2) | polyépoxydes. | |
| FEP | (1) | poly(éthylène/propylène)perfluoré. | |
| MBS | (1) | poly(styrène/butadiène/méthacrylate de méthyle). | |
| MF | (2) | mélamine formol. | |
| PA | (1) | polyamides. | |
| PB | (1) | polybutylène. | |
| PC | (1) | polycarbonates. | |
| PE | (1) | polyéthylène. | |
| PE bd | (1) | polyéthylène basse densité. | منخفض الكثافة |
| PE hd | (1) | polyéthylène haute densité. | عالي الكثافة |
| PEOX | (1) | poly(oxyéthylène). | |

(1) : بلاستيك حراري Thermoplastiques

(2) : بلاستيك متصلب حراريا Thermodurcissables

## تابع جدول الأسماء والرموز (٢)

| الرمز | | المادة |
|---|---|---|
| PF | (2) | phénol formol. |
| PI | (2) | polyimides. |
| PMMA | (1) | poly(méthacrylate de méthyle). |
| PMS | (1) | poly(méthylstyrène). |
| POM | (1) | poly(oxyméthylène). |
| PP | (1) | polypropylène. |
| PPO | (1) | poly(oxyphénylène). |
| PPS | (1) | poly(sulfure de phénylène). |
| PS | (1) | polystyrène. |
| PSU | (1) | polysulfones. |
| PTFE | (1) | poly(tétrafluoroéthylène). |
| PVA | (1) | poly(acétal de vinyle). |
| PVAC | (1) | poly(acétate de vinyle). |
| PVC | (1) | poly(chlorure de vinyle). |
| PVDC | (1) | poly(chlorure de vinylidène). |
| PVF | (1) | poly(fluorure de vinyle). |
| SAN | (1) | poly(styrène/acrylonitrile). |
| MBS | (1) | poly(styrène/butadiène/méthacrylate de méthyle). |
| SI | (1)(2) | silicones. |
| UF | (2) | urée formol. |
| UP | (2) | polyesters insaturés. |

الجدول ( ٤ ) 1 - Styréniques

| المادة | الميزات | المساوئ | التطبيقات |
|---|---|---|---|
| PS | صلابة ، ثبات شكلي وحجمي ، شفافية ممكنة ٩٠ / ، مقاومة للجو الاستوائي ، عازل كهربائي جيد ، رخيص التكاليف ، سهولة القولبة والتشكيل بمجال حراري كبير ، تراجعه ضعيف ، قابل للحام بالطرق الفوق صوتية ، لاصق ، يمكن استعماله للديكور . | هش ، قابل للاحتراق ، حساسية للهيدروكربون ، للزيوت والمذيبات ، صعب التشكيل بالنفخ . | تغليف حراري بالتشكيل أو الحقن ، مفروشات ، أدوات منزلية ، أدوات صحية ، راديو ، تلفزيون (الغلاف والقطع المشكلة بالقوالب) ، أدوات كهربائية منزلية ، ألعاب ، قطع مختلفة بالبرادات ، أدوات مكتب ورسم ، معدات تصوير . |
| PSC | مقاومة أفضل للصدمات . | صلابة مخففة ، غير شفاف | |
| SAN | مقاوم للصدمات والتحزيز ، متألق ، سلوك أفضل للتشقق بتأثير الاجهادات ، مقاوم للهيدروكربون . | هش . | أدوات كهربائية منزلية وصحية ، وشائع وملفات ، أنوار السيارات . |
| ABS | صلابة ، ثبات حجمي ، سطح صلب ولماع ، مقاومة جيدة للصدم وللتحزيز ، مقاوم جيد للرطوبة والحرارة ، قولبة وتشكيل سهل . | غير شفاف ، ثبات كيميائي ضعيف . | معظم التطبيقات السابقة ، حقائب ، قطع صغيرة مختلفة بعض قطع هياكل السيارات والقوارب . |

الجدول ( ٥ )          Thermoplastique

| الخواص (١) | الوحدة | Normal | modifiés Résis à la chaleur | modifiés 20-30% f.Verre |
|---|---|---|---|---|
| المادة : بولي ستيرن PS Polystyrènes | | | | |
| الكتلة الحجمية | $gr/cm^3$ | ١,٠٦٥ ـ ١,٠٤ | ١,١١ ـ ١,٠٥ | ١,٣٣ ـ ١,٢ |
| ناقلية الضوء | % | شفاف | شفاف | نصف شفاف |
| امكانية التلوين | - | غير محدودة | غير محدودة | — |
| امتصاص الماء خلال ٢٤ / ساعة | % سماكة ٣,٢ مم | ٠,٠٥ ـ ٠,٠٣ | ٠,٤ ـ ٠,٠٥ | ٠,٠٧ ـ ٠,٠٥ |
| اجهاد الانهيار على الشد | $Kg_f/mm^2$ | ٦,٣ ـ ٣,٥ | ٨,٤ ـ ٤,٩ | ١٠,٥ ـ ٧,٧٣ |
| التمدد حتى الانهيار بالشد | % | ٢,٥ ـ ١ | ٢,٥ ـ ١,٥ | ١,٣ ـ ٠,٧٥ |
| معامل المرونة بالشد | $Kg_f/mm^2$ | ٣٥٠ ـ ٢٨٠ | ٤٢٠ ـ ٢٨٠ | ٨٤٧ ـ ٧٧٠ |
| اجهاد الانهيار بالضغط | $Kg_f/mm^2$ | ١١,٢ ـ ٨ | ١١,٢ ـ ٨ | — |
| اجهاد الانهيار بالانحناء | $Kg_f/mm^2$ | ١١,٢ ـ ٨,٤ | ١١,٩ ـ ٧ | ١٣,٤ ـ ١٠,٥ |
| انتشار اللهب | mm / min | بطيء | بطيء | لا يحترق |
| عامل التمدد الخطي الحراري | $10^{-5}$ °C | ٨ ـ ٦ | ٨ ـ ٦ | ٤,٥ ـ ٣ |

ـ تابع ـ الجدول ( ٥ ) Thermoplastique

| Polystyrènes | | PS بولي ستيرن | | المـــــــادة |
|---|---|---|---|---|
| Modifiés 20-30% f.Verre | modifiés Résis à la chaleur | Normal | الوحـــدة | الخـواص ( ٢ ) |
| — | ٣ ـ ١,٩ | ٣,٣ ـ ٢,٤ | $10^{-4}$ cal/s/cm/°C | الناقليـة الحراريـة |
| ٠,٢٧ ـ ٠,٢٣ | ٠,٣٥ ـ ٠,٣٢ | ٠,٣٢ | cal/gr/°C | الحـرارة النوعيـة |
| ١١٠ ـ ٩٠ | ١١٣ ـ ٨٢ | ٩١ ـ ٦٦ | °C | درجة حرارة الانحناء تحت حمـل |
| ٩٣ ـ ٨٢ | ٩٣ ـ ٧٧ | ٧٧ ـ ٦٦ | °C | درجة حرارة المقاومـة ( حرارة مستمرة ) |
| ممتاز | جيد | جيد جدا | - | امكانيـة القولبـة |
| | | | | درجة حرارة القولبـة |
| ٣٣٠ ـ ٢٣٢ | ٢٧٠ ـ ١٨٠ | ٢٢٠ ـ ١٦٠ | °C | ـ بالحقـن |
| — | ٢٠٥ ـ ١٥٠ | ٢٠٥ ـ ١٣٠ | °C | ـ بالضغـط |
| | | | | ضغـط القولبـة |
| ٢٨١٠ ـ ١٠٥٠ | ٢٣١٠ ـ ٧٠٠ | ٢١٠٠ ـ ٧٠٠ | $Kg_f/cm^2$ | ـ بالحقـن |
| — | ٢٦٠ ـ ٧٠ | ٧٠٠ ـ ٧٠ | $Kg_f/cm^2$ | ـ بالضغـط |

– تابع – الجدول ( ٥ ) Thermoplastique

| المـادة : | | | بولي ستيرين PS | Polystyrènes | |
|---|---|---|---|---|---|
| الخـواص (٣) | | الموحدة | Normal | modifiés Résis. à la chaleur | Modifiés 20-30% f.Verre |
| نوعية التصنيع | | - | وسط – جيد | وسط – جيد | جيد |
| تاثير الطاقة الشمسية | | - | اصفرار | اصفرار خفيف | اصفرار خفيف |
| تاثير الحموض الضعيفة | | - | معدوم | معدوم | معدوم |
| تاثير الحموض القوية | | - | تتاثر بالحموض المؤكسدة | | |
| تاثير المحاليل العضويه | | - | | | |
| ثابت العزل الكهربائي | 60 Hz | - | ٢,٤٥ – ٢,٦٥ | ٢,٨٥ – ٣,٤ | — |
| | $10^3$Hz | - | ٢,٤ – ٢,٦٥ | ٢,٤ – ٣,٢ | — |
| ظل زاوية الفقد | 60Hz | - | ٠,٠٠٠١ – ٠,٠٠٠٣ | ٠,٠٠٠٥ – ٠,٠٠٣ | ٠,٠٠٠٤ – ٠,٠٠٢ |
| | $10^3$Hz | - | ٠,٠٠٠١ – ٠,٠٠٠٣ | ٠,٠٠٠٥ – ٠,٠٠٣ | ٠,٠٠١ – ٠,٠٠٤ |
| المقاومة النوعيه المستعرضه | | ohm-cm | $١٠^{١٦}$ | $١٠^{١٣}$ – $١٠^{١٧}$ | ٢,٣ – ٣,٢ |
| الصلابه الكهربائية | | Kv /mm | ١٦ – ٢٨ | ١٢ – ٢٤ | ١٤ – ١٥ |

الجدول ( ٦ - ٤ ) 2 - Vinliques

| المادة | الميزات | المساوئ | التطبيقات ( ١ ) |
|---|---|---|---|
| PVC rigide | صلب ، ثبات حجمي ، مقاومة للتآكل ، لا يمتص الماء ، كتيم بالنسبة للغازات ، سلوك جيد للمحاليل الكيميائية ، سهل البثق والتشكيل واللحام HF | كثافة مرتفعة نسبيا ، هش بدرجات الحرارة المنخفضة ، في عمليات الحقن يحتاج الى احتياطات ( مجال درجة حرارة الحقن صغير ) . | أنابيب ، أجسام مفرغة ، زجاجات ، تغليف بالتشكيل الحراري ، أغطية .... بروفيلات ، صفائح ، (في الولايات المتحدة يستعمل لتوزيع الغاز الى المنازل ) |
| PVC souple | ليونة مشابهة للكاوتشوك . | ضرورة استخدام مانع للأكسدة لتجنب تأكسد الملدنات ومانع لانتقال الملدنات . صعب الالتصاق . | أغطية أرضية ، عوازل للكابلات والأسلاك الكهربائية ، بروفيلات لينة ووصلات ... أحذية ، مركبات قابلة للنفخ (أغطية للمسابح ، للمخازن ، لصالات المعارض ... ) |
| PVC- C | مقاومة حرارية واسعة ، غير قابل للاشتعال . | هش عند الصدمات | تغليف عند الملء على الساخن (المربيات .... ) |

( ١ ) : في الحقيقة تطبيقات هذه المادة كثيرة جدا ومن العسير حصرها والمذكور هنا بعضها منها .

الجدول ( ٧ )

Thermoplastique

| المـــــادة : | | Polychlorure de vinyle PVC بولي كلور فينل | | بولي سلفون |
|---|---|---|---|---|
| الخـواص ( ١ ) | الوحـدة | Rigide | Souple | Polysulfone |
| الكتلة الحجميـــة | $gr/cm^3$ | ١,٤٥ — ١,٣٥ | ١,٣٥ — ١,١٦ | ١,٢٤ |
| ناقلية الضـــوء | % | شفاف ـ غير شفاف | شفاف ـ غير شفاف | شفاف ٠٠ غير شفاف |
| امكانية التلويـــن | - | غير محددة | غير محددة | — |
| امتصاص الماء خـلال ٢٤ / ساعة | % سماكة ٢,٠ مم | ٠,٤ — ٠,٠٧ | ٠,٧٥ — ٠,١٥ | ٠,٢٢ |
| اجهاد الانهيار على الشد | $Kg_f/mm^2$ | ٦,٣ — ٣,٥ | ٢,٤٥ — ١,٠٥ | ٧,٠٤ |
| التمدد حتى الانهيـار بالشـد | % | ٤٠ — ٢ | ٤٥٠ — ٢٠٠ | ١٠٠ — ٥٠ |
| معامل المرونه بالشـد | $Kg_f/mm^2$ | ٤٢٠ — ٢٤٥ | — | ٢٥٣ |
| اجهاد الانهيار بالضغط | $Kg_f/mm^2$ | ٩,١ — ٥,٦ | ١,١٩ — ٠,٦٣ | ٢٦٠ |
| اجهاد الانهيار بالانحناء | $Kg_f/mm^2$ | ١١,٢ — ٧ | — | ١٠,٨ |
| انتشار اللهـب | mm / min | اطفاء ذاتي | بطيء ـ اطفاء ذاتي | اطفاء ذاتي |
| عامل التمدد الخطي الحراري | $10^{-5}$ °C | ١٨,٥ — ٥ | ٢٥ — ٧ | ٥,٦ |

- تابع - الجدول ( ٧ )

Thermoplastique

| المــــادة | | Polychlorure de vinyle PVC بولي كلور فينيل | | بولي سلفون |
|---|---|---|---|---|
| الخـواص ( ٢ ) | الوحـدة | Rigide | Souple | Polysulfone |
| الناقليـة الحراريـة | $10^{-4}$ cal/s/cm/°C | ٣ _ ٧ | ٣ _ ٤ | ٦,٢ |
| الحـرارة النوعيـة | cal/gr/°C | ٠,٢ _ ٠,٢٨ | ٠,٣ _ ٠,٥ | ٠,٣ |
| درجة حرارة الانحناء تحت حمـل | °C | ٥٤ _ ٧٤ | _ | ١٨٠ |
| درجة حرارة المقاومـة ( حرارة مستمرة ) | °C | ٤٩ _ ٧١ | ٦٦ _ ٧٩ | ١٧٤ |
| امكانيـة القولبـة | - | وسط _ جيد | جيد | ممتاز |
| درجة حرارة القولبـة | | | | |
| _ بالحقـن | °C | ١٥٠ _ ٢٠٥ | ١٨٠ _ ١٩٥ | ٣٤٣ _ ٣٩٩ |
| _ بالضغـط | °C | ١٤٠ _ ٢٠٥ | ١٤٠ _ ١٨٠ | ٢٨٨ _ ٣١٦ |
| ضغـط القولبـة | | | | |
| _ بالحقـن | $Kg_f/cm^2$ | ١٠٥٠ _ ٢٨٠٠ | ٥٦٠ _ ١٧٥٠ | ١٠٥٠ _ ١٤١٠ |
| _ بالضغـط | $Kg_f/cm^2$ | ١٠٥ _ ١٤٠ | ٣٥ _ ١٤٠ | ٧٠,٣ |

تابع – الجدول ( ٧ ) Thermoplastique

| المـــادة : | | بولي كلور فينيل Polychlorure de vinyle PVC | | بولي سلفون |
|---|---|---|---|---|
| الخـــواص (٣) | الـوحـدة | Rigide | Souple | Polysulfone |
| نوعيـة التصنيـــع | - | جيد جدا | – | ممتاز |
| تاثير الطاقة الشمسيـة | - | اسمرار | متغير تبعا للملدن | – |
| تاثير الحوض الضعيفـة | - | معدوم | معدوم | – |
| تاثير الحوض القويـة | - | معدوم | معدوم – خفيف | – |
| تاثير المحاليل العضويه | - | مقاوم لمعظم المحاليل | | – |
| ثابت العـــزل الكهربائـي 60 Hz | - | ٣,٢ – ٣,٦ | ٥ – ٩ | ٣,١٤ |
| ثابت العـــزل الكهربائـي $10^3$Hz | - | ٣ – ٣,٣ | ٤ – ٨ | ٣,١٣ |
| ظل زاويـة الفقـد 60Hz | - | ٠,٠٠٧ – ٠,٠٢ | ٠,٠٨ – ٠,١٥ | ٠,٠٠٠٨ |
| ظل زاويـة الفقـد $10^3$Hz | - | ٠,٠٠٩ – ٠,٠١٧ | ٠,٠٧ – ٠,١٦ | ٠,٠٠١١ |
| المقاومة النوعيه المستعرضه | ohm-cm | ١٠^١٦ | ١٠^١١ – ١٠^١٣ | ٥ × ١٠^١٤ |
| الصلابه الكهربائيـة | Kv /mm | ١١ – ٤٠ | ١١ – ٣٢ | ١٥ |

الجدول ( ٨ ) 3 - Polyoléfines

| المادة | الميزات | المساوئ | التطبيقات |
|---|---|---|---|
| PEbd | ليونة (بدون ملدنات) ، مقاوم للصدمات وعمليا غير قابل للكسر ، عديم النفوذ للماء ، رخيص الثمن سهل القولبة والبثق ( مجال واسع لدرجة حرارة التشكيل ) . | قابل للتشقق بتأثير الاجهاد ، غير ثابت حراريا ، سريع الاشتعال ، قابلية نفوذ غازات $O_2$ و $CO_2$ ، تراجع مختلف بالقولبة ، صعب اللصق لحامه HF مستحيل . | تغليف بشكل طبقات ، حقائب للمنتجات الغذائية والصناعية ، سلال تحمل ٥٠ كغ ، أغلاق ، ورود اصطناعية ، ألعاب طرية ، اقنية ، أغلفة الكوابل التلفونية ، منتجات منزلية ، في الزراعة والأبنية ، في الدعاية .... |
| PEhd | خواص محسنة عن الـ PEbd صلب أو نصف صلب ، ثبات في الحرارة والبرودة ، ثبات كيميائي ، أقل حساسية للتشقق بتأثير الاجهادات . | قابل للاحتراق ، تراجع غير متجانس . | صناديق للزجاجات ، صناديق لنقل السلع ، زجاجات حليب مبستر ، قوارير المحاليل المنظفة ، علب وكالونات لزيوت المحركات ، قشرة الزورق الصغير ذو المجداف أدوات تزلج ، انابيب ماء باقطار كبيرة للمناطق الباردة وبأقطار صغيرة لتوزيع الغاز المنزلي (فرنسا) ، براميل كبيرة سعة ١٠٠-٢٠٠ لتر لتحل محل البراميل المعدنية ، خزانات وقود للسيارات ( قيد التجارب ) . الرصاص البلاستيكي . |

الجدول ( ٨ ) ـ تابـــع ـ    3 - Polyoléfines    -Suite-

| المادة | الميزات | المساوئ | التطبيقات |
|---|---|---|---|
| PP | خواص ميكانيكية جيدة ، صلابة ، مقاومة للتآكل ، مقاومة ممتازة للانعطاف ، ثبات بالحرارة المرتفعة (حوالي $110^{\circ}C$ ) ، المحافظة على الخواص حتى درجة حرارة الارتخاء ، خواص كهربائية جيدة ، مقاومة كيميائية جيدة ، انعدام التشقق تحت تأثير الاجهادات ، كثافته ضعيفة ( 0,90 ) . | نفس مساوئ PEhd مع : هشاشية بدرجة الحرارة المنخفضة ، التشكيل اكثر صعوبة . | خيوط ، حبال ، حقائب بشكل اشرطة تحمل ١٠٠ كغ ، التغليف للحالات المعقدة ، كراسي للبحر والمقاهي ، قطع كهربائية منزلية ( آلة غسيل ، ماص الهواء aspirateur مكانس كهربائية ، جلايات ... ) ، قطع للسيارات ، القطع المختلفة للحمامات (بانيو ، مغاسل ... ) ، صفائح ، أقلام ، طبقات قشرية لكل الاستعمالات ، أنابيب للماء الساخن ...... |
| PEmd | خواص وسطية بين PEbd و PEhd | | زجاجات الحليب المبستر . |

الجدول ( ٩ ) Thermoplastique

| المـــــادة : | PE بولي ايتيلين | | Polyéthylènes | |
|---|---|---|---|---|
| الخـواص ( ١ ) | الوحـدة | Qualité moulage | Qualité fils et câbles | Moyenne densité |
| الكتلة الحجميـة | $gr/cm^3$ | ٠,٩٥ ــ ١,٤٥ | ٠,٩٣ ــ ١,٤٠ | ٠,٩٢٦ ــ ٠,٩٤ |
| ناقلية الضـوء | % | شفاف ــ غير شفاف | شفاف ــ غير شفاف | شفاف ــ غير شفاف |
| امكانيـة التلويـن | - | — | — | — |
| امتصاص الماء خـلال / ٢٤ / ساعـة | % سماكة ٣,٢ مم | — | — | ٠,٠١ |
| اجهاد الانهيار على الشد | $Kg_{f/mm^2}$ | ١,٤ ــ ٣,١٥ | ١,٠٥ ــ ٢,١٧ | ٠,٨٤ ــ ٢,٤٥ |
| التمدد حتى الانهيـار بالشـد | % | ١٥ ــ ٢٢٥ | ١٨٠ ــ ٦٠٠ | ٥٠ ــ ٦٠٠ |
| معامل المرونه بالشـد | $Kg_{f/mm^2}$ | ٣٥ ــ ٣٥٠ | — | ١٧٥ ــ ٣٨٥ |
| اجهاد الانهيار بالضغط | $Kg_{f/mm^2}$ | ١,٤ ــ ٣,٨٥ | — | — |
| اجهاد الانهيار بالانحناء | $Kg_{f/mm^2}$ | ١,٤ ــ ٤,٥٥ | — | — |
| انتشـار اللهـب | mm / min | بطيء جدا ــ اطفاء ذاتي | بطيء | بطيء جدا |
| عامل التمدد الخطـي الحـراري | $10^{-5}$ °C | ١٠ ــ ٣٥ | ١٠ ــ ٣٥ | ١٤ ــ ١٦ |

ـ تابع ـ الجدول ( ٩ ) Thermoplastique

| المـــــادة | بولي ايتيلين PE | | | Polyéthylènes |
|---|---|---|---|---|
| الخـواص ( ٢ ) | الوحـــدة | Qualité moulage | Qualité fils et câbles | Moyenne densité |
| الناقليـة الحراريـــة | $10^{-4}$ cal/s/cm/°C | ـ | ـ | ٨ ـ ١٠ |
| الحـرارة النوعيـــة | cal/gr/°C | ـ | ـ | ٠,٥٥ |
| درجة حرارة الانحناء تحت حمـل | °C | ٣٨ ـ ٧٩ | ـ | ٤١ ـ ٧٤ |
| درجة حرارة المقاومـة ( حرارة مستمرة ) | °C | ١٣٥ | ١٣٥ | ١٠٤ ـ ١٢١ |
| امكانيـة القولبـة | - | جيدة جدا | ـ | جيدة جدا |
| درجة حرارة القولبـة | | | | |
| ـ بالحقـن | °C | ١٢١ ـ ١٤٩ | ـ | ٢٠٠ ـ ٣٧١ |
| ـ بالضغـط | °C | ١١٦ ـ ٢٣٢ | ـ | ١٤٩ ـ ١٩٠ |
| ضغـط القولبـة | | | | |
| ـ بالحقـن | $Kg_f/cm^2$ | ـ | ـ | ٥٦٠ ـ ٢١٠٠ |
| ـ بالضغـط | $Kg_f/cm^2$ | ٧ ـ ٥٦ | ـ | ٧ ـ ٥٦ |

– تابع – الجدول ( ٩ )

Thermoplastique

| الخواص (٣) | | الوحدة | Qualité moulage | Qualité fils et câbles | Moyenne densité |
|---|---|---|---|---|---|
| المادة : | | بولي ايتيلين PE | | Polyéthylènes | |
| نوعية التصنيع | | - | — | جيد – جيد جدا | جيد |
| تاثير الطاقة الشمسية | | - | | | الغير محمي يتشقق بسرعة |
| تاثير الحموض الضعيفة | | - | مقاوم جيد | | |
| تاثير الحموض القوية | | - | يتأثر فقط بالحموض المؤكدة | | |
| تاثير المحاليل العضوية | | - | مقاوم دون درجة حرارة ٨٠ م | | مقاوم دون ٦٠ م |
| ثابت العزل الكهربائي | 60 Hz | - | — | ٢,٦ – ٢,٢٨ | ٢,٣٥ – ٢,٢٥ |
| | $10^3$Hz | - | — | ٢,٤ – ٢,٢٧ | ٢,٣٥ – ٢,٢٥ |
| ظل زاوية الفقد | 60Hz | - | — | ٠,٠٤٤ – ٠,٠٠٣ | ٠,٠٠٠٥ |
| | $10^3$Hz | - | — | ٠,٠٤٩ – ٠,٠٠٠٤٨ | ٠,٠٠٠٥ |
| المقاومة النوعية المستعرضة | | ohm-cm | — | — | $١٠^{١٦}$ |
| الصلابة الكهربائية | | Kv /mm | — | ٥٦,٨ – ٩,٢ | ٤٠ – ١٨ |

الجدول ( ١٠ ) Thermoplastique

| المـــادة : | « PA » بولياميد | Polyamides | | |
|---|---|---|---|---|
| الخــواص ( ١ ) | الوحـدة | Nylon Type 6/6 | 20-40% f. de Verre | Type 11 |
| الكتلة الحجميـــة | $gr/cm^3$ | ١,٠٩ — ١,١٥ | ١,٣ — ١,٥٢ | ١,٠٤ |
| ناقليــة الضـــوء | % | شفاف | نصف شفاف | شفاف |
| امكانيــة التلويـــن | — | غير محدد | — | غير محدد |
| امتصاص المـاء خـلال / ٢٤ / سـاعـة | سماكة ٣,٢ مم % | ١ — ١,٥ | ٠,٢ — ١١ | ٠,٥ — ١ |
| اجهاد الانهيار على الشد | $Kg_f/mm^2$ | ٤,٩ — ٧,٦ | ٩,٨٤ — ٢٤,٦٠ | ٤,٨ — ٦ |
| التمدد حتى الانهيـار بالشـد | % | ٢٠٠ — ٣٢٠ | ١,٥ — ٦ | ٧٠ — ٣٠٠ |
| معامل المرونه بالشـد | $Kg_f/mm^2$ | ١٨٣ — ٢٨٠ | ٦٠٥ — ١٢٧٠ | ٦٠ — ١٥٠ |
| اجهاد الانهيار بالضغط | $Kg_f/mm^2$ | ٥ — ٩,١ | — | ٦ — ١٠ |
| اجهاد الانهيار بالانحناء | $Kg_f/mm^2$ | ٥,٦ — ٩,٧ | ١٢,٧ — ٢٨,١ | — |
| انتشـار اللهـب | mm / min | بطيء — اطفاء ذاتي | بطيء — اطفاء ذاتي | بطيء — اطفاء ذاتي |
| عامل التمدد الخطـي الحـراري | $10^{-5}$ °C | ١١ — ١٤,٥ | ١,٢ — ٣,٢ | ١١ |

- تابع - الجدول ( ١٠ ) Thermoplastique

| المـــادة | بولياميد ، « P A » Polyamides | | | |
|---|---|---|---|---|
| الخواص ( ٢ ) | الوحـــدة | Nylon Type 6/6 | 20-40% f. de Verre | Type 11 |
| الناقليــة الحراريـــة | $10^{-4}$ cal/s/cm/°C | ٥ ـ ٦ | ١,٠ ـ ١,٧ | ٢ |
| الحـرارة النوعيـــة | cal/gr/°C | ٠,٥٥ ـ ٠,٥٦ | ٠,٣ ـ ٠,٣٥ | ٠,٥٨ |
| درجة حرارة الإنحناء تحت حمل | °C | ٩٣ | ٢٥٨ ـ ٢٦٦ | ـ |
| درجة حرارة المقاومــة ( حرارة مستمرة ) | °C | ٢٢٦ | ١٤٩ ـ ٢٠٤ | ـ |
| امكانيــة القولبـــة | ـ | جيد جدا | ممتاز | جيد جدا |
| درجة حرارة القولبـــة | | | | |
| ـ بالحقـــن | °C | ٢٤٣ ـ ٢٨٢ | ٢٦٠ ـ ٣٥٤ | ـ |
| ـ بالضغـــط | °C | ـ | ـ | ـ |
| ضغـــط القولبـــة | | | | |
| ـ بالحقـــن | $Kg_f/cm^2$ | ٧٠٠ ـ ١٧٥٠ | ١٠٥٠ ـ ٢٨١٠ | ٥٠٠ ـ ١٥٠٠ |
| ـ بالضغـــط | $Kg_f/cm^2$ | ـ | ـ | ـ |

— تابع — الجدول ( ١٠ ) Thermoplastique

| المــــادة : بولياميد « PA » Polyamides | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| الخـــواص (٣) | | الوحـدة | Nylon Type 6/6 | 20-40% f. de Verre | Type 11 |
| نوعيـة التصنيـــع | | — | جيد جدا | وسط | جيد جدا |
| تاثير الطاقة الشمسيـة | | — | مقاومة تغير اللون خفيفـــة | مقاومة تغير اللون خفيفـــة | — |
| تاثير الحوض الضعيفة | | — | توثر | توثر | توثر |
| تاثير الحموض القويـــة | | — | | | |
| تاثير المحاليل العضويه | | — | مقاومة للمحاليل العادية | مقاومة لمعظم المحاليل | مقاومة للمحاليل العادية |
| ثابت العــــزل الكهربائـي | 60 Hz | — | ٤,١ — ٤,٦ | ٤ — ٤,٦ | — |
| | $10^3$Hz | — | ٤ — ٤,٥ | ٣,٩ — ٤,٤ | ٣,٢ — ٣,٣ |
| ظـل زاويـة الفقـــد | 60Hz | — | ٠,٠١٤ — ٠,٠٤ | ٠,٠١٨ — ٠,٠٢٥ | — |
| | $10^3$Hz | — | ٠,٠٢ — ٠,٠٤ | ٠,٠٢٠ — ٠,٠٢٥ | ٠,٠٣ |
| المقاومة النوعيه المستعرضه | | ohm-cm | ١٠^١٣ — ١٠^١٤ | ٥٣ ١ — ٥٥ × ١٠^١٥ | ٦ × ١٠^١٣ |
| الصلابه الكهربائيـــة | | Kv /mm | ٢٤ — ٢٩ | ١٦,٣ — ٢٠,١ | ٢٥ |

الجدول ( ١١ ) 1- Phénoplastes et Aminoplastes

| المادة | الميزات | المساوى• | التطبيقات |
|---|---|---|---|
| PF | الخواص تكون تابع للحمل المستعمل (أميانت) ثبات حرارى، ثبات حجمي (ارد واز) ، (غرافيت) احتكاك، (ميكا) ثبات حراري بالمجال للمجموع : (130 - 180°C) مقاومة للتشوه الهطي• والتآكل ، سطح صلب وناعم ، عزل كهربائي ، اطفاء ذاتي ، سعر منخفض، يستعمل مع المعـــادن• | ألوان غامقة فقط ، رائحة غير جيدة ، لا يصلح للاستخدامات المتعلقة بالغذاء ، دورة التصنيع طويلة للبودرة المحملة بالاميانت أو الغرافيت (التسخين المسبق مستحيل ) • | عازل كهربائي ، موزع الشرارة بالسيارة ، مقابض للمكاوى والطناجر ، قطع ميكانيكية تتعرض باستمرار للحرارة المرتفعة • |
| UF | مقاومة للتآكل ، عدم الرائحة ، اطفاء ذاتي ، سعر مخفض• | ثبات ميكانيكي ضعيف ، حساس للماء ، غير غذائي تراجع مهم • | قواطع كهربائية ، مآخذ للتيار ، استعمالات صحية ، سدادات للعطور• |
| MF | خواص UF ، مقاومة ميكانيكية جيدة عدم النفوذ للرطوبة والمذيبات ، ثبات حجمي ، عزل كهربائي ، ألوان جميلة ، صالح للاستعمالات الغذائية | سعر مرتفع، ضغط قولبة مرتفع، القوالب باهظة التكاليف ( Ni-Cr ) مطلية بالكروم • | صحون ، أواني مختلفة ، حاجيات وأغراض معدة للدعاية (صحون السكاير مثلا ) •••• |

الجدول ( ١٢ )　　Thermodurcissable

| الصـــــابة : | | فينوبلاست PF Phénoplastes | | |
|---|---|---|---|---|
| الخـواص (١) | الوحـدة | Résine non chargée | Charge minerale P 12 | Char. farine de bois P 21 |
| الكتلة الحجميـــة | $gr/cm^3$ | ١,٢٥ ـ ١,٣٠ | ١,٥ ـ ١,٨ | ١,٣٥ ـ ١,٤٠ |
| ناقليـة الضــــوء | % | شفاف | غير شفاف | غير شفاف |
| امكانيـة التلويـــن | - | محددة | محددة جدا | محددة |
| امتصاص الماء خــلال /٢٤/ ساعة | % سماكة ٣,٢ مم | ٠,١ ـ ٠,٢ | ٠,٠٥ ـ ٠,١ | ٠,١ ـ ٠,٥ |
| اجهاد الانهيار على الشد | $Kg_{f/mm^2}$ | ٤,٩ ـ ٥,٦ | ٢,٨ ـ ٧ | ٢,٥ ـ ٦ |
| التمدد حتى الانهيـــار بالشـــد | % | ١ ـ ١,٥ | ـ | ـ |
| معامل المرونة بالشـــد | $Kg_{f/mm^2}$ | ٣٨٥ ـ ٧٠٠ | ٨٠٠ ـ ٢٠٠٠ | ٧٠٠ ـ ٩٥٠ |
| اجهاد الانهيار بالضغط | $Kg_{f/mm^2}$ | ٧ ـ ٣٠ | ١٢ ـ ٤٠ | ١٤ ـ ٢٦ |
| اجهاد الانهيار بالانحناء | $Kg_{f/mm^2}$ | ٨,٤ ـ ١٠,٥ | ٧ ـ ٩ | ٧ ـ ١١ |
| انتشـار اللهـــب | mm / min | ضعيف جدا | معدوم | اطفاء ذاتي |
| عامل التمدد الخطـــي الحـراري | $10^{-5}$ °C | ٢,٥ ـ ٦ | ١,٥ ـ ٨ | ١ ـ ٥ |

ـ تابع ـ الجدول ( ١٢ ) Thermodurcissable

| المـــــادة | | PF فينولاست | Phénoplates S | |
|---|---|---|---|---|
| الخـواص ( ٢ ) | الوحـــدة | Résine non chargée | Charge minerale P 12 | Charge farine de bois P 21 |
| الناقليـة الحراريـة | $10^{-4}$ cal/s/cm/°C | ٣ ـ ٦ | ٦ ـ ١٦ | ١ ـ ٧ |
| الحـرارة النوعيـة | cal/gr/°C | ٠,٣٨ ـ ٠,٤٢ | ٠٣ ـ ٠٣٨ | ٠,٣ ـ ٠,٤ |
| درجة حرارة الانحناء تحت حمـل | °C | ١١٦ ـ ١٢٧ | ١٧٠ | ١٣٠ |
| درجة حرارة المقاومـة ( حرارة مستمرة ) | °C | ١٢١ | ١٨٠ | ١٢٠ |
| امكانيـة القولبـة | ـ | وسط | وسط ـ جيد | جيد جدا |
| درجة حرارة القولبـة | | | | |
| ـ بالحقـن | °C | ـ | ـ | ـ |
| ـ بالضغـط | °C | ١٣٢ ـ ١٦٠ | ١٥٠ ـ ١٧٠ | ١٥٠ ـ ١٨٠ |
| ضغـط القولبـة | | | | |
| ـ بالحقـن | $Kg_f/cm^2$ | ـ | ـ | ـ |
| ـ بالضغـط | $Kg_f/cm^2$ | ١٤٠ ـ ٢٨٠ | ٢٥٠ ـ ٤٠٠ | ٢٥٠ ـ ٣٠٠ |

ـ تابع ـ الجدول ( ١٢ )

Thermodurcissable

| المـــــادة : | | | فينولاست PF | Phénoplastes | |
|---|---|---|---|---|---|
| الخـــواص (٣) | | الـوحـدة | Résine non chargée | cCharge minerale P12 | Charge farine de bois P 21 |
| نوعيــة التصنيــع | | - | وسط | وسط | جيدة |
| تاثير الطاقة الشمسيــة | | - | اسمرار سطحي خفيف | اسمرار عام | اسمرار سطحي |
| تاثير الحموض الضعيفــة | | - | معدوم ـ طفيف | معدوم ـ طفيف | معدوم ـ طفيف |
| تاثير الحموض القويــة | | - | تحلل بالحموض المؤكسدة ، معدوم ـ طفيف للحموض العضوية | | |
| تاثير المحاليل العضويه | | - | معدوم | معدوم عموما | معدوم عموما |
| ثابت العـــزل الكهربائي | 60 Hz | - | ٥ ـ ٦,٥ | ٧,١ ـ ٧,٥ | ٥ ـ ٩ |
| | $10^3$Hz | - | ٤,٥ ـ ٦ | ٦,٩ ـ ٦٠ | ٤,٤ ـ ٩,٣ |
| ظـل زاويــة الفقـــد | 60Hz | - | ٠,٠٦ ـ ٠,١ | ٠,٠٥ ـ ٠,٥ | ٠,٠٥ ـ ٠,٣ |
| | $10^3$Hz | - | ٠,٠٣ ـ ٠,٠٨ | ٠,٠٢ ـ ٠,٥ | ٠,٠٤ ـ ٠,٢ |
| المقاومة النوعيه المستعرضه | | ohm-cm | $١٠^{١١}$ ـ $١٠^{١٢}$ | $١٠^{١٠}$ ـ $١٠^{١٤}$ | $١٠^{٩}$ ـ $١٠^{١٢}$ |
| الصلابه الكهربائيـــة | | Kv /mm | ١٢ ـ ١٦ | ٢ ـ ١٤ | ٨ ـ ١٧ |

الجدول ( ١٣ ) Thermodurcissable

| المـــــــادة : | ميلامين – فورميك MF | Mélamine-formaldéhyde | | |
|---|---|---|---|---|
| الخـواص (١) | الوحـدة | Non chargée | Charge f.Verre | Charge amiante |
| الكتلة الحجميـــــة | $gr/cm^3$ | ١,٤٨ | ١,٨ – ٢ | ١,٧ – ٢ |
| ناقليـة الضـــــوء | % | الخبش | غير شفاف | غير شفاف |
| امكانيـة التلويـــــن | – | – | – | محددة |
| امتصاص المـاء خــلال ٢٤ / ساعـة | % سماكة ٣,٢ مم | ٠,٣ – ٠,٥ | ٠,٠٩ – ٠,٢١ | ٠,٠٨ – ٠,١٤ |
| اجهاد الانهيار على الشد | $Kg_f/mm^2$ | – | ٣,٥ – ٧ | ٣,٨٥ – ٤,٩٠ |
| التمدد حتى الانهيـــار بالشـــد | % | – | – | ٠,٣ – ٠,٤٥ |
| معامل المرونه بالشـــد | $Kg_f/mm^2$ | – | ١٦٨٠ | ١١٢٠ |
| اجهاد الانهيار بالضغط | $Kg_f/mm^2$ | ٢٨ – ٣١,٥ | ١٤ – ٢٤,٥ | ٢١ |
| اجهاد الانهيار بالانحناء | $Kg_f/mm^2$ | ٧,٧ | ١٠,٥ – ١٦,١ | ٦,٣ – ٧,٧ |
| انتشـار اللهـــب | mm / min | اطفاء ذاتي | اطفاء ذاتي | معدوم |
| عامل التمدد الخطـــي الحـراري | $10^{-5}$ °C | – | ١,٥ – ١,٧ | ٢ – ٤,٥ |

– تابع – الجدول ( ١٣ )    Thermodurcissable

| المـــادة | Mélamine-formaldéhyde — MF ميلامين – فورميك | | | |
|---|---|---|---|---|
| الخـواص (٢) | الوحـدة | Non chargée | Charge f.Verre | Charge amiante |
| الناقليـة الحراريـة | $10^{-4}$ cal/s/cm/°C | – | ١١,٥ | ١٣ – ١٧ |
| الحـرارة النوعيـة | cal/gr/°C | – | – | – |
| درجة حرارة الانحناء تحت حمـل | °C | ١٤٨ | ٢٠٤ | ١٦٠ |
| درجة حرارة المقاومة ( حرارة مستمرة ) | °C | ٩٩ | ١٤٩ – ٢٠٤ | ١٢٠ – ١٧٠ |
| امكانيـة القولبـة | – | جيد | جيد | جيد جدا |
| درجة حرارة القولبـة | | | | |
| – بالحقـن | °C | – | – | – |
| – بالضغـط | °C | ١٤٩ – ١٦٥ | ١٣٨ – ١٧١ | ١٣٥ – ١٨٠ |
| ضغـط القولبـة | | | | |
| – بالحقـن | $Kg_f/cm^2$ | – | – | – |
| – بالضغـط | $Kg_f/cm^2$ | ١٤٠ – ٣٥٠ | ١٤٠ – ٥٦٠ | ٢٠٠ – ٣٠٠ |

— تابع — الجدول ( ١٣ ) Thermodurcissable

| المـــــادة : | | ميلامين — فورميك MF | Mélamine-formaldéhyde | |
|---|---|---|---|---|
| الخـــواص (٣) | الـوحـــدة | Non chargée | Charge f.Verre | Charge amiante |
| نوعيــة التصنيـــع | - | — | جيد | وسط |
| تاثير الطاقة الشمسيـة | - | احتمال تغير اللون | خفيف | تغير لون خفيف |
| تاثير الحوض الضعيفـة | - | معدوم — خفيف | معدوم | معدوم — خفيف |
| تاثير الحوض القويـــة | - | — | تحلل | تحلل |
| تاثير المحاليل العضويه | - | معدوم | معدوم | معدوم |
| ثابت العـــزل الكهربائـي 60 Hz | - | — | ١١,١ — ٩,٧ | ١٠,٢ — ٦,٤ |
| ثابت العـــزل الكهربائـي $10^3$Hz | - | — | — | ٩ |
| ظل زاويـــة الفقـــد 60Hz | - | — | ٠,٢٣ — ٠,١٤ | ٠,١٧ — ٠,٠٧ |
| ظل زاويـــة الفقـــد $10^3$Hz | - | — | — | ٠,٠٧ |
| المقاومة النوعيه المستعرضه | ohm-cm | — | $١٠^{١١}$ | $١٠^{١٣}$ |
| الصلابه الكهربائيـــة | Kv /mm | — | ١٢ — ٦,٨ | ١٦ — ١٤ |

الجدول ( ١٤ )

Thermodurcissable

| المـــــادة : | | ابيوكسيد EP | Epoxydes | |
|---|---|---|---|---|
| الخـواص (١) | الوحـدة | coulées non chargée | moulage f. Verre | Enrobage Charge minérale |
| الكتلة الحجميـــة | $gr/cm^3$ | ١,١١ ـ ١,٤ | ١,٦ ـ ٢ | ١,٧ ـ ٢,١ |
| ناقلية الضـــوء | % | نصف شفاف | غير شفاف | غير شفاف |
| امكانيـة التلوين | - | - | - | - |
| امتصاص الماء خـلال /٢٤/ ساعة | % سماكة ٣,٠ مم | ٠,٠٨ ـ ٠,١٥ | ٠,٠٥ ـ ٠,٢ | ٠,٠٣ ـ ٠,٢ |
| اجهاد الانهيار على الشد | $Kg_f/mm^2$ | ٢,٨ ـ ٩,١ | ٧ ـ ٢١ | ٢,٨ ـ ٧ |
| التمدد حتى الانهيـار بالشـد | % | ٣ ـ ٦ | ٤ | - |
| معامل المرونة بالشـد | $Kg_f/mm^2$ | ٢٤٥ | ٢١٢٨ | - |
| اجهاد الانهيار بالضغط | $Kg_f/mm^2$ | ١٠,٥ ـ ١٧,٥ | ١٢,٥ ـ ٢٨ | ١٢,٦ ـ ٢١ |
| اجهاد الانهيار بالانحناء | $Kg_f/mm^2$ | ٩,٣ ـ ١٤,٧ | ٤,٢ ـ ٧ | ٤,٢ ـ ١٠,٥ |
| انتشار اللهـب | mm / min | بطيء | اطفاء ذاتي | اطفاء ذاتي ـ غير قابل للاشتعال |
| عامل التمدد الخطـي الحـراري | $10^{-5}$ °C | ٤,٥ ـ ٦,٥ | ١,١ ـ ٣,٥ | ٣ ـ ٦ |

— تابع — الجدول (١٤) Thermodurcissable

| المـــادة | | ايبوكسيد EP | Epoxydes | |
|---|---|---|---|---|
| الخـواص (٢) | الوحـدة | coulee non chargée | moulage f. Verre | Enrobage Charge minerale |
| الناقليـة الحراريـة | $10^{-4}$ cal/s/cm/°C | — | ٤ — ١٠ | ٤ — ١٠ |
| الحـرارة النوعيـة | cal/gr/°C | ٠,٢٥ | ٠,١٩ | — |
| درجة حرارة الانحناء تحت حمـل | °C | ٤٦ — ٢٨٨ | ١٢١ — ٢٦٠ | ١٠٧ — ٢٣٢ |
| درجة حرارة المقاومـة (حرارة مستمرة) | °C | ١٢١ — ٢٨٨ | ١٤٩ — ٢٦٠ | ١٤٩ — ٢٣٢ |
| امكانيـة القولبـة | — | — | جيدة جدا | جيد — جيد جدا |
| درجة حرارة القولبـة | | | | |
| — بالحقـن | °C | — | — | — |
| — بالضغـط | °C | — | ١٤٩ — ١٦٥ | ١٢١ — ١٦٥ |
| ضغـط القولبـة | | | | |
| — بالحقـن | $Kg_{f}/cm^2$ | — | — | — |
| — بالضغـط | $Kg_{f}/cm^2$ | — | ٢١ — ٣٥٠ | ٣٥ — ٧٠ |

– تابع – الجدول ( ١٤ )

Thermodurcissable

| المـــادة : | | ايبوكسيد EP | Epoxydes | |
|---|---|---|---|---|
| الخـــواص (٣) | الوحـــدة | coulée non chargée | moulage f. Verre | Enrobage Charge minerale |
| نوعيـة التصنيـــع | - | جيد | مقبول – جيد | مقبول – جيد |
| تاثير الطاقة الشمسيـة | - | معدوم | خفيف | خفيف |
| تاثير الحوض الضعيفـة | - | معدوم | معدوم | معدوم |
| تاثير الحموض القويـــة | - | يتأثر ببعض الحموض | يمكن اهماله | خفيف |
| تاثير المحاليل العضويه | - | مقاوم بصورة عامة | معدوم | خفيف |
| ثابت العـــزل الكهربائـي 60 Hz | - | ٣,٥ – ٥ | ٣,٥ – ٥ | ٣,٥ – ٥ |
| ثابت العـــزل الكهربائـي $10^3$Hz | - | ٣,٥ – ٤,٥ | ٣,٥ – ٥ | ٣,٥ – ٥ |
| ظـل زاويــة الفقـــد 60Hz | - | ٠,٠٠٢ – ٠٠١ | ٠,٠١ | ٠,٠١ |
| ظـل زاويــة الفقـــد $10^3$Hz | - | ٠,٠٠٢ – ٠,٠٢ | ٠,٠١ | ٠,٠١ |
| المقاومة النوعيه المستعرضه | ohm-cm | $١٠^{١٢}$ – $١٠^{١٧}$ | $١٠^{١٤}$ | $١٠^{١٤}$ |
| الصلابه الكهربائيـــة | Kv /mm | ١٦ – ٢٠ | ١٢ – ١٦ | ١٠ – ١٦ |

| انكليزى | فرنسي | |
|---|---|---|
| Astate | Etat A | الحالة |
| Abrupt melting | Fusion franche | انصهار واضح |
| Absorption speed | Vitesse d'absorption | سرعة الامتصاص |
| Aerohydraulic battery | Accumulateur | مُدخرة |
| Ageing | Vieillissement( تقد م الزمن (تعتيق | |
| Altermed constraint | Contrainte alternée | اجهاد متناوب |
| Artificial resin | résine artificielle | ريزين اصطناعي |
| Autogeneous weld | soudure autogène | لحام ذاتي |
| Backing plate | plateau de fixation | صفيحة التثبيت |
| Blank | Flan | |
| Block press | Presse à bloc | ضغط بكتلة |
| Blowing | Soufflage | نفخ |
| Bunch | grappe | نتوء |
| Bridge | Pont | جسر |
| Calender | Calandre | أداة اسطوانية للصقل |
| Caloric plate | Plateau calorifère | صفيحة مولدة للحرارة |
| Cast film | Film coulé | شريط صب |
| Cast moulding | Moulage par coulée | قولبة بالصب |
| Catalyst | Catalyseur | مادة محفزة |
| Chemical plasticizing | Plastage chimique | ملدن كيمياوي |

| | | |
|---|---|---|
| Chroming plated | Chromé | مطلي بالكروم |
| Coating | Enduction | طلا ، طبقة خارجية |
| Cold creep | Fluage à froid | تشوه بطي' بالبرودة |
| Colle setting glue | Colle à froid | الصاق بالبرودة |
| Compression moulding | Moulage par compression | القولبة بالضغط |
| Counter draft | Contre-dépouille | |
| Creep | Fluage | تشوه بطي' |
| Cutting | Découpage | قطع |
| Deflection | Flèche | انحراف |
| Design of the abject | Dessin de l'objet | تخطيط للقطعة |
| Dielectric loss | Perte diélectrique | ضياع العزل الكهربائي |
| Dimensional | Dimensionnel | بعدى |
| Direct gate | Entrée directe | مدخل مباشر |
| Double press | Presse double | ضغط مضاعف |
| Dowel bush | Douille | غلاف ، تجويف ، وصلة |
| Draft | Dépouille | |
| Dynamic constraint | Contrainte dynamique | اجهاد ديناميكي |
| Ejection control | Commande d'éjection | متحكم بقذف القطعة . |
| Ejection plate | Plateau de démoulage | صفيحة اخراج القطعة . |
| Ejection rod | Tige d'éjection | ساق لقذف القطعة |
| Ejector pin | Ejecteur, | قاذف لافظ |

| English | Français | عربي |
|---|---|---|
| Elastic limite or=yield point= | Limite élastique | حدود المرونـــة |
| Elasto-plastic hardness | Dureté élasto-plastique | |
| Engraving | Gravure | |
| Escaping mould | Moule à échappement | |
| Expanded energy | Energie de remontée | |
| Expansion | Dilatation | تمدد ، اتساع |
| Extruded sheet | Feuille extrudée | ورق مبثوق |
| Extrusion machine | Boudineuse | |
| Filling press | Presse à filer | |
| Fillers | Charges | احمال |
| Film glue | Film de colle | شريط لاصق |
| Flash | Bavure | نتوء |
| Flash land | Toile | نسيج قماشي ، لوحة |
| Flat molecule | Molécule plate | جزيء مسطح |
| Forced impression | Empreinte forcée | طبعة قسرية |
| Formed laminate | Stratifié formé | طبقات مشكلة |
| Forming pressure | Pression de formage | ضغط التشكيل |
| Friction work | Travail de frottement | عمـل الاحتكاك |
| Glueing | Collage | لصـــــق |
| Gradual melting | Fusion pâteuse | انصهار عجينـــي |

| English | Français | العربية |
|---|---|---|
| Hand operated mould | Moule à main | قالب يدوى |
| Hard chromium plating | Chromage dur | تلبيس كرومي صلب |
| Hardness | Dureté | القساوة |
| Heating pot | Pot de chauffage | وعاء التسخين |
| High elasticity | Haute élasticité | مرونة عالية |
| High polymer | Haut polymère | بوليمير عالي |
| Hob | Poinçon | أداة ضاغطة |
| Holes | Trous | ثقب |
| Hot setting glue | Colle à chaud | الصاق على الساخن |
| Impressing | Estampage | طبع ، ختم |
| Impression | Empreinte | طبعة |
| Impression block | Matrice | نواة |
| Impression gate | Entrée d'empreinte | مدخل الطبعة |
| Injection cylinder | Pot d'injection | وعاء الحقن |
| Injection force | Force d'injection | قوة الحقن |
| Inlaying | Incrustation | تغطية ، تغشية |
| Insulation strength | Résistance d'isolement | مقاومة العزل |
| Insulator | Isolant | عازل |
| Jelly | Gelée | صقيع ، مجمدة |
| Joint by closing | Joint par rapprochement | |

| English | French | Arabic |
|---|---|---|
| Laminated ( stratified plates) | Plaques stratifiées | صفائح منضدة |
| Laminated preform | Préforme stratifiée | تكوين مسبق منضد |
| Laminated sheet | Feuille stratifiée | ورقة منضدة |
| Land | Appui | دعم ، سند ، حماية |
| Leaks | Fuites | تهريب |
| Limit constraint | Limite de contrainte | حدود الاجهاد |
| Line | Cordon | حبل ، شريط |
| Linear chain | Chaîne linéaire | سلسلة خطية |
| Load deflection curve | Flèche sous charge | انحنا ، تحت الحمل |
| Loss angle | Angle de perte | زاوية الفقد |
| Loss factor | Facteur de perte | عامل الفقد |
| Lubricant | Lubrifiant | مزيت ، مشحم |
| Machining | Usinage | صنع |
| Markable datum | Grandeur mesurable | مقدار قابل للقياس |
| Melting | Fusion | انصهار |
| Molecular weigh | Poids moléculaire | وزن جزيئي |
| Mould | Moule | قالب |
| Mould opening force | Force d'ouverture | قوة الفتح |
| Moulding forces | Forces de moulage | قوة القولبة |
| Moulding powder | Poudre à mouler | بودرة للقولبة |
| Moulding shrinkage | Retrait de moulage | تراجع القولبة |

| | | |
|---|---|---|
| Multi-chased | Moules à empreintes | قالب متعدد الطبعات |
| Occasioned constraint | Contrainte occasionnelle | |
| Opened impression | Empreinte ouverte | طبعة مفتوحة |
| Paste | Pâte | عجينة |
| Penetrating force | Force d'enfoncement | قوة التهشم |
| Pin | Broche | سيخ ، قضيب |
| Plasticize | Plastifier | تلديــــن |
| Plasticizer | Plastifiant | ملدن |
| Plasting by dipping | Trempage | |
| Plasto rigid hardness | Dureté plasto-rigide | |
| Plate | Plaque | صفيحة ، لوح |
| Plates | Plateaux | طبق |
| Polymerisate | Polymérisat | مبلمر |
| Packing of foods | Emballage alimentaire | تغليف غذائــــــــــي |
| Positive mould | Moule positif | قالب موجب |
| Powder glue | Colle en poudre | بودرة لاصقة |
| Power factor | Tg angle de perte | ظل زاوية الفقد |
| Precuring | Précuisson | احتياط |
| Preform | Préforme | تشكيل مسبق |

Preheater by dielectric تسخين مسبق بفقد العزل الكهربائي

Préchauffage par pertes diélectriques.

Preheater by infra red radiations

Préchauffage par infrarouge.

تسخين مسبق بالأشعة تحت الحمراء .

Preheating Préchauffage. تسخين مسبق

Pressure distributor موزع الضغط

Distributeur de pression.

Raw materials Matériaux de base. مواد الأساس

Reduced viscosity Viscosité réduite. لزوجة مصغرة

Ringed gate Entrée annulaire. مدخل حلقي

Round Arrondi. مكور

Seating Assise. ثابت ، مستقر

Seizing Grippage. عض (احتكاك يؤدى لا بطاء أو توقف الحركة .

Shearing Cisaillement. قص

Shot Moulée. مقولب

Single press Presse simple. مكبس بسيط

Sink-mark Dépression superficielle. انحطاط سطحي

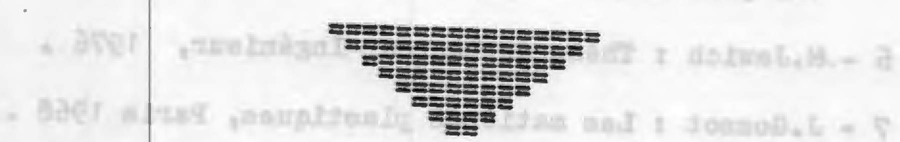
Slow spontaneos recovery مرونة متأخرة

Elasticité retardée.

Slow solvent Solvant lent. مذيب بطيء .

| English | Français | العربية |
| --- | --- | --- |
| Softening | Ramollissement. | تليين |
| Spot | Tache. | بقعة |
| Sprue | Carotte. | جزرة ، عقب |
| Sprue bush | Buse de carotte. | |
| Static constraint | Contrainte statique. | اجهاد ساكن |
| Structural unit | Motif structural. | مقطع احادى التركيب |
| Surface resistivity | Résistivité superficielle. | المقاومة النوعية السطحية |
| Swell | Gonflement. | انتفاخ |
| Swelling pression | Pression de gonflement. | ضغط الانتفاخ |
| Tensile test | Essai de traction. | تجربة شد |
| Test of breaking | Essai de rupture. | تجربة للانهيار |
| Thermal diffusivity | Diffusivité thermique. | البث الحرارى |
| Thermal field | Champ thermique. | حقل حرارى |
| Thermal insulator | Isolant thermique. | عزل حرارى |
| Thermoset | Thermodurcissable. | متصلب حراريا |
| Threshold | Seuil. | مدخل ، بد . |
| Transfer moulding | Moulage par transfert. | القولبة بالتحويـــل |
| Transfer pot | Pot de tran sfert. | زعا . التحويـــل |

| | | |
|---|---|---|
| Trimming | Ebavurage. | برادة الزوائد |
| Twisting | Torsion. | فتل |
| Unlaminated | Non stratifiés. | غير منضد |
| Varnish | Vernis. | طلاء ، مظهر براق |
| Vent(air hole) | Event. | ثقب الصمام |
| Wear | Usure. | تلف ، استهلاك |
| Wedge mould | Moule à coquille. | الب بصدفة |
| Weld | Soudure. | لحام |
| Width direction | Largeur. | عرض |
| Withdrawing | Démoulage. | اخراج القطعة من القالب |
| Worn mass | Masse usée. | الكتلة المستهلكة |





# مراجـــــــع الكتاب

1 - M.Chatain : Plastique , Paris 1974 .

2 - P.Dubois : Plastiques modernes , Tome I,II 1963-1968 .

3 - E.G.Fisher : Extrusion of plastics , London 1976 .

4 - Techniques de l'ingénieur ( A 9 Plastiques ) 1976 .

5 - PLASTICS Engineering Handbook ( The socity of the plastics industry ) .

6 - M.Jawich : Thèse de Docteur-Ingénieur, 1976 .

7 - J.Gossot : Les matières plastiques, Paris 1968 .

8 - J.Rollet : Travail des plastiques , Paris 1960 .

9 - D.N.Buttrey : Plastics in furniture, London 1976 .

10 - M.Reyne : Les plastiques ( Guide pratique de l'utilisateur .

11- W.Nowacki : Théorie du fluage , Paris 1965 .

12 - J.Pabiot : Proprietes mécaniques des matières plastiques , CEMP - ENSAM , 1972 .

13 - Plastiques modernes et élastomères , mémento 1975 - 1976 .

14- E.G.Fisher : Blow moulding of plastics, London 1971 .

## المحتـــــــــــوى

الصفحـــة

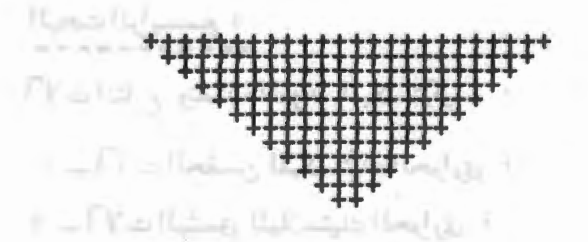
الصفحـــة

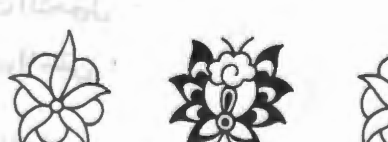
الصفحة

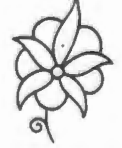
**الفصل الأول :**



**الفصل الثاني :**







الدكتور
معتز جاويش
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
جامعة دمشق

# البلاستيك وآلاته

١٤٠١ - ١٤٠٢ هـ
١٩٨١ - ١٩٨٢ م

مطبعة الجاحظ - دمشق




صدر باشراف لجنة الانجاز

السعر المبيع للطالب ( ٢٥ ) ل.س

٥٥٩ *